علم الجيولوجيا

الإنسان والطبيعة والمستقبل

تأليف

و.ج. فيرنسيدز

أستاذ الجيولوجيا. شيفيلد

أ.م. بولمان

محاضر الجيولوجيا. جامعة كمبردج

ترجمة:

محمود عطية

مراجعة

نصري شكري

الكتاب: علم الجيولوجيا .. الإنسان والطبيعة والمستقبل

الكاتب: و.ج. فيرنسيدز ، أ.م. بولمان

ترجمة : محمود عطية

مراجعة : نصري شكري

الطبعة: ٢٠٢٠

الناشر: وكالة الصحافة العربية (ناشرون)



٥ ش عبد المنعم سالم – الوحدة العربية – مدكور- الهرم – الجيزة

جمهورية مصر العربية

هاتف : ٣٥٨٢٥٢٩٣ _ ٣٥٨٦٧٥٧٦ _ ٣٥٨٦٧٥٧٥

فاكس : ٣٥٨٧٨٣٧٣

E-mail: news@apatop.comhttp://www.apatop.com

دار الكتب المصرية

فهرسة أثناء النشر

علم الجيولوجيا .. الإنسان والطبيعة والمستقبل / و.ج. فيرنسيدز ، أ.م. بولمان ،

ترجمة: محمود عطية، مراجعة : نصري شكري.

– الجيزة – وكالة الصحافة العربية.

٢٨٣ ص، ١٨*٢١ سم.

الترقيم الدولى: ٧ – ٦٣ – ٦٨١٨– ٩٧٧– ٩٧٨

أ – العنوان رقم الإيداع : ٨٠٢٢ / ٢٠٢٠

علم الجيولوجيا

الإنسان والطبيعة والمستقبل

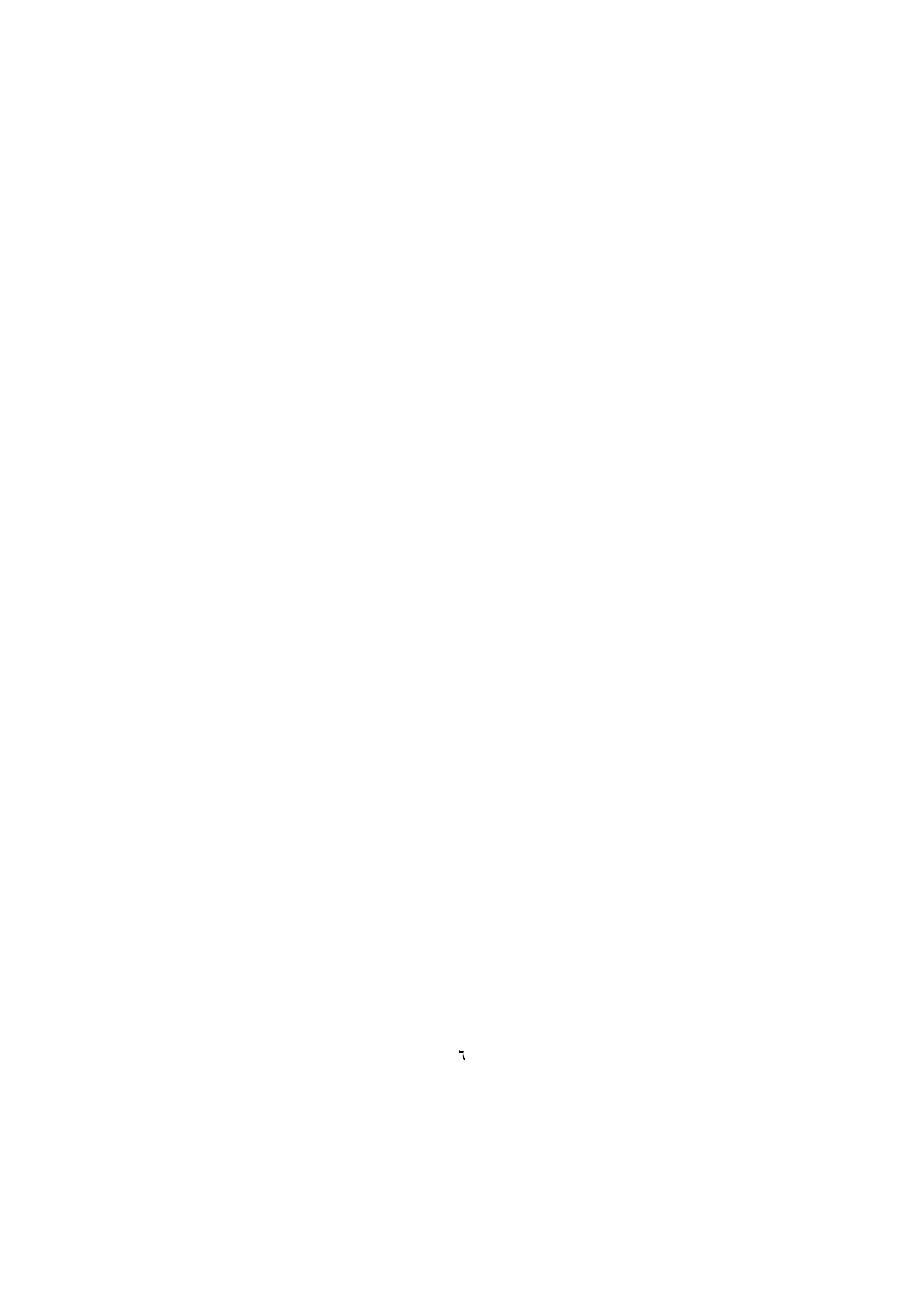




إهداء

إلى

وليم هويتهدواتس



مقدمة

الجيولوجيا هي علم الأرض، وبخاصة دراسة طبيعة وتركيب وتاريخ ذلك الغطاء الرقيق للأرض الذي يستطيع الإنسان أن يكشف عنه، ومع تضييق تعريفها إلى هذا الحد، فإنها لا تزال أوسع العلوم الطبيعية مدى، وتتصل اتصالاً وثيقاً بجميعها تقريباً. وهذه الارتباطات ذات فائدة متبادلة، وقد تطور الكثير منها من ميادين التأمل العلمي البحت إلى مواضيع لها أهمية اقتصادية كبرى.

ويهدف العالم الجيولوجي إلى تحديد ماهية القشرة الأرضية عن طريق معرفة الصخور والمعادن التي تدخل في تركيبها، وإلى الكشف عن كيفية ووقت تكوينها. ويرتبط بذلك مسائل تركيبها الهندسي، وترتيب كتلها الصخرية، والأسباب التي تنتج عنها أمثال هذه التراكيب. وقد كان للتقلصات الأرضية المتعاقبة تأثير كبير في توزيع البحار والقارات؛ ومهمة العالم الجيولوجي تفسير القصة المعقدة للتغيرات الجغرافية والمناخية المستمرة. وأخيراً فمن ممهم العالم الجيولوجي شرح السجلات التي تركتها الحفريات من بقايا الحيوانات والنباتات ومقارنتها بحيوانات ونباتات الوقت الحاضر. ويتضح من كل ذلك العلاقة الوثيقة بين العالم الجيولوجي والكيميائي وعالم الفيزياء وعالم الجغرافيا وعالم الأحياء.

وخلاصة كل هذه المعلومات، أن العالم الجيولوجي يحاول تنسيق تاريخ الكرة الأرضية بالدقة والكمال حسبما تسمح به مجموعة الأدلة والبراهين،

التي وإن كانت ناقصة، إلا أنها في ازدياد مستمر. وبهذا يصبح عالم الجيولوجيا أكثر تفهماً للوضع الحالي للعالم الطبيعي، ولا بد له أن يجد فيه نتائج التغيرات العظيمة المتعاقبة؛ فتاريخ الكرة الأرضية بالنسبة لعالم الجيولوجيا عبارة عما تم حتى الآن من تحميض شريط سينمائي كوني، وقد يكون الكثير من وشائع (بكرات) هذا الشريط قد نسي أو أتلف جزئياً، كما أن بعضها الآخر لم يستعمل بعد. إن قمم جبال الهيمالايا وجبال الألب العالية مكونة في غالبيتها من صخور كانت في الأصل رمالاً أو طيناً ترسبت على قاع بحر قديم. إننا نظن أننا نعرف كيف – إن لم يكن حتى الآن لماذا – ارتفعت هذه القمم إلى هذه الارتفاعات الهائلة، وإننا لمتأكدون أنها سوف تتفتت بمرور الزمن، وتصبح أثراً متعرياً لا يبعث الرهبة في النفس كما هو الحال في جبال منطقتي "سنودن" و"البحيرات" في الجزائر البريطانية.

ولقد كان لهذه الجبال في الأيام الخوالي روعة كروعة جبال الألب، وسوف يتكون من فتات هذه القمم في بحار أخرى طبقات سميكة من الرواسب يقدر لها أن تصبح مرة أخرى جزءًا من الأرض، وربما أصبحت سلاسل من الجبال. إن انتظام الأحداث في عالم الأرض غير الحي له نظير في عالم الأحياء أيضًا، فلقد ناضلت الفصيلة تلو الفصيلة من الحيوانات أو النباتات إلى التفوق والسمو في تيار الحياة لتهبط مرة أخرى أمام منافس آخر. ونحن لا نرى في هذا تغيرًا فحسب، بل أنه شيء آخر نتشجع فنسميه "التقدم". وليست جبال الألب أحسن من جبال مقاطعة ويلز في أوجها، وليست أستراليا كقارة أحسن من "جندوانالاند" في العصر البرمي، ولكن رجل الغابة في أستراليا كان بلا شك أكثر تقدمًا من الزواحف التي سكنت "جندوانالاند".

إن في هذا التجميع للتاريخ الجيولوجي للكرة الأرضية، ما يمكن أن نسميه بالناحية العلمية البحتة والثقافية لعلم الجيولوجيا، وتثير فلسفة علم الجيولوجيا إعجاب الكثيرين. ولم يكن تطورها سبباً في ظهور الكثير من عظماء علمائه فحسب، بل إنه كان سببًا في وجود جمهور كبير من الهواة الذين تدل حماستهم – على مبلغ اهتمام الناس الحيوي بهذا العلم. والواقع أنه لا يوجد علم آخر – ربما باستثناء علم الفلك – ساهم فيه الهواة بمثل ما ساهموا به في علم الجيولوجيا.

وهناك ناحية أخرى لعلم الجيولوجيا نشأت من ارتباطه بالفنون الصناعية، فاستغلال خامات المواد المعدنية في الصناعات الحديثة يرتكز على الارتباط الموجود بين الجيولوجيا وفن التعدين، وبينها وبين فن استنباط الزيت الخام. ويجب أن يقوم عالم الجيولوجيا بعملية الاستكشاف. خذ مثلاً احتياجات العالم الحديث للماء، الفحم الحجري، الحديد، البترول، المعادن غير الحديدية، المخصبات، المواد الكيميائية. وإن من ينسى المصدر الأصلي لهذه المواد ليس أكثر إدراكاً من الطفلة الصغيرة التي نشأت في المدينة، إذ قالت للمزارع "إننا نحصل على لبننا من زجاجة". إن تحديد مواقع السدود والأنفاق والمصارف وإنشاء الطرق ومواد البناء، يدخل كله في اختصاص العالم الجيولوجي، كما هو من اختصاص المهندس المدني. ومن السهولة بمكان أن نضرب أمثالاً كثيرة مماثلة.

إنه لمن المؤسف حقًا أن مزيدًا من علماء الجيولوجيا لم يشترك في المجهود الحربي، وسوف يكون من المحزن عدم تطبيق المعلومات الجيولوجية بطريقة مباشرة في أعمال التعمير فيما بعد الحرب. ولسوء الحظ نجد أن التطبيقات العملية للجيولوجيا متعددة وواضحة، لدرجة أنها تغفل

عادة لا من الكتاب الشعبيين عن العلوم والحياة العامة فحسب، (وهو أمر غير خطير) بل كذلك من المسئولين عن تحديد مواضع الإسكان والصناعات وتخطيط التوسع الإقليمي. ولم يكن من الضروري أن نضيف كتاباً إلى قائمة الكتب العديدة التي وضعت عن الناحية الثقافية للجيولوجيا، إلا أن ما كتب لتعريف الرجل العادي والمشتغلين بالصناعة والمدرسين بالنواحي الاقتصادية لعلم الجيولوجيا قليل، ولهذا فإن الغرض من هذا الكتيب، بعد تقديم بيان مختصر عن المبادئ الجيولوجية العامة الضرورية، هو أن يعرض عرضاً مبسطاً لبعض النواحي المهمة لعلم الجيولوجيا في خدمة الإنسان، التي يغلب أن يهملها المؤلفون في هذا الموضوع.

المؤلفان

و.ج.ف– أ. م.ب. ب

الجزء الأول

الفصل الأول

القشرة الأرضية

الاستنتاجات الجيوفيزيقية فيما يتعلق بباطن الأرض وطبيعة القشرة الأرضية – تدرج درجات الحرارة – المواد التي تكون القشرة الأرضية – الصخور المتكونة تحت درجات حرارة مرتفعة، الصخور المتكونة تحت درجات حرارة منخفضة والصخور المتحولة.

يخبرنا علماء الجيوفيزيقيا أن باطن الكرة الأرضية يتكون من مواد ثقيلة مصهورة يعلوه قشرة صلبة خفيفة نسبياً. وقد دلت دراسة انتقال الذبذبات التي تحدثها هزات الزلزال على وجود تغير كبير في خواص الأرض قرب منتصف المسافة بين السطح والمركز، وعلى أن المواد الواقعة أسفل هذا المستوى لا تنقل الموجات المستعرضة أو الملتوية، ولو أنها تنقل الموجات الطولية أو الضاغطة، فيجب لهذا اعتبارها سائلة برغم الضغط الكبير عليها. أما المواد الواقعة أعلى هذا المستوى فإنها تنقل موجات الدفع والقص، فهي صلبة بالرغم من درجات الحرارة المرتفعة. إن كثافة قلب الأرض السائل هي ١٢ (أي أنها أثقل من الماء ١٢ مرة) أما كثافة القشرة التي تعلوها فهي ٣ر٤ في المتوسط. وإن هذه القيمة العالية للكثافة هي – نوعاً ما – نتيجة للضغط الهائل الناشيء عن

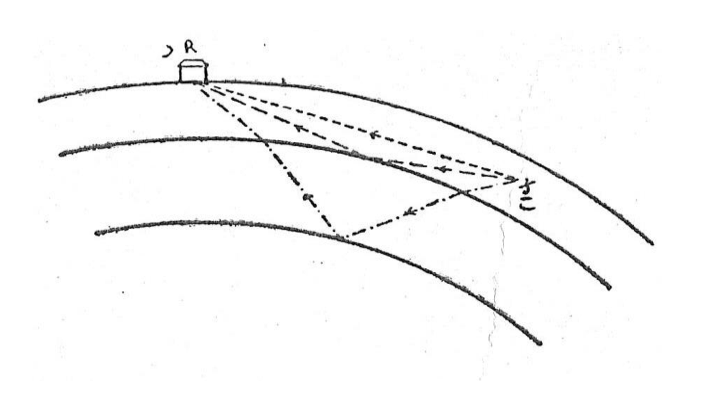
ثقل المواد الواقعة فوقها، والمقدر أنه لولا هذا الضغط، لكانت كثافة قلب الأرض حوالي ٨، (يناظر كثافة الشهب الحديدية) ولكانت كثافة القشرة ٤ر٣. (تقابل كثافة الشهب الحجرية) ويستخلص من ذلك أن الأرض– بصفة عامة – تسلك مسلك قشرة صخرية سمكها حوالي ٢٠٠٠ من الأميال تعلو نواة من الحديد المصهور قطرها حوالي ٤٠٠٠ ميلا.

إن القشرة ليست منتظمة في مجموعها، ولكنها تتكون من طبقات مختلفة في تراكيبها وخواصها. ولقد كانت معرفتنا لهذه الحقيقة بسبب انحناء الموجات الضاغطة والملتوية عندما تمر من طبقة إلى أخرى، كما ينكسر شعاع الضوء عند مروره من الهواء إلى الماء؛ فالطبقة الخارجية سيليسية "جرانيتية" يبلغ سمكها حوالي عشرة أميال، أسفلها طبقة وسطى، وعلى الرغم من أنها مختلطة إلا أنها "بازلتية" في الغالب، يتراوح سمكها بين ٢٥، ٣٠ ميلاً.

ويوجد أسفل هذه القشرات، الجزء الأكبر من المواد التي تمتد إلى منتصف البعد إلى مركز الأرض. وتتكون غالباً من معدن "الأوليفين" وهو معدن حديدي مغنيسي، يتراوح ثقله النوعي بين ٣ر٣، ٤ر٣.

وليس لدينا من وسائل للتحقق من تركيب المواد الواقعة أسفل القشرة الأرضية السطحية سوى هذه المقاييس للخواص الطبيعية. وإذا ما قبلنا الاستنتاج بأن الطبقتين الصخريتين الوسطى والسفلى مكونتان من البازلت والصخور الحاملة للأوليفين على التعاقب، فإننا نوافق على أنه

يوجد في أسفل القشرة الصلبة عناصر معدنية تختلط في الغالب مع السيليكا والأوكسجين مكونة سيليكات. وقد أظهر الإحصاء الإجمالي لتحاليل جميع الصخور المعروفة في القشرة الأرضية، أن متوسط نسبة الأوكسجين تزيد على ٤٧%، وأن هناك ثمانية عناصر تزيد على جميع العناصر الأخرى، لدرجة أنها تكون ما يقرب من ٩٩% من المجموع وهذه العناصر هي:–



شكل (١)

يبين خطوط سير الموجات الرئيسية التي تستقبلها محطة تسجيل (ر) من مركز زلزال غير عميق عند (س)، وتتوقف الفترة الزمنية على المسافة التي تقطعها الموجات، وعلى بعض الخواص الطبيعية للمواد التي تمر بها. ولهذا، تسجل هزات متعاقبة في محطة التسجيل (ر).

الأوكسجين.... ٤٧%

السيليكون.... ٢٨% — ٧٥% من القشرة الأرضية

الألومينيوم..... ٨%

الحديد........ ٥%

الكالسيوم..... ٣ر٥%

الصوديوم...... ٢ر٧٥%

البوتاسيوم..... ٢ر٥%

المغنيسيوم...... ٢ر٢٥% ٢٤% من القشرة الأرضية

أما بقية العناصر التي يبلغ عددها نحو ثمانين أو تزيد والتي تشمل جميع العناصر التي تتدخل في تكوين الأجسام الحية كما تشمل معظم المواد النافعة في مختلف الفنون، فإنها تكون ١% فقط من طبقات القشرة الأرضية.

ومن حسن الحظ أن طبقات القشرة الأرضية ليست جميعها منتظمة أو متجانسة، وأن العوامل الطبيعية قد هيأت تجمعات موضعية لمواد مفيدة (نافعة)، مثل الرواسب المعدنية التي تبلغ درجة كافية من الغنى، بحيث يمكن اعتبارها من الخامات. وتختلف شدة عملية الانفصال هذه اختلافاً كبيراً، ويمكن توضيحها بالإشارة إلى المعادن النافعة كالذهب والنحاس والحديد؛ فالذهب الذي يقدر متوسط نسبته في الصخور بمقدار ١ إلى مائة مليون يصبح جديراً باهتمام المشتغلين بالتعدين إذا زادت نسبته في التركيز الموضعي إلى ١ في ١٠٠ر٠٠٠، والنحاس، الذي لا تزيد نسبته على ١ في ١٠ر٠٠٠ تصبح عملية استخلاصه مربحة، إذا بلغت نسبته ٠,٧٥% في أية كتلة كبيرة أو طبقة من الصخور، وقد يعطي خام النحاس الغني من ٣% إلى ٤% من

معدن النحاس. وعلى عكس ذلك، فالحديد – وهو أكثر المعادن شيوعاً بعد الألومينيوم – لا يصهر في أي بلد حتى من أكثر الخامات انتشاراً في الطبقات التي تحتوي على خام ضعيف إذا قل الإنتاج عن ١٨%–٢٠% من معدن الحديد.

ويمكن القول إن كل معدن طبيعي يحتوي على أقل من ١٠% من الأوكسيجين، أو ٢% من السيليكون ويمكن نقله بسهولة، يكون له في العالم الحديث قيمة اقتصادية مؤكدة. وكفرض عملي، يمكننا أن نزعم إذن أن الأرض – عقب انفصالها مباشرة عن الشمس – كانت مكونة من سائلين لا يختلطان، وطفا أخفهما وزناً إلى السطح وتصلب بمرور الزمن حول نواة من معدن مصهور أكثر كثافة وبقى سائلاً شديد الحرارة إلى يومنا هذا. إن ارتفاع درجة حرارة باطن الأرض ليس كله نتيجة للحرارة المختلفة، ولكنه – إلى حد ما – نتيجة للانقسام الذاتي للعناصر المشعة مثل الثوريوم واليورانيوم. ونتيجة لبرودة القشرة الأرضية عند السطح، وسريان الحرارة من باطن الأرض إلى القشرة الصلبة، نشأ ذلك التدرج في درجة الحرارة، وهو يظهر بوضوح في عمليات التوسع في أي منجم عميق. والحقيقة أن هذا التدرج هو أحد العوامل الكثيرة التي تحدد العمق الذي يمكن أن يمتد إليه أي منجم؛ ففي بريطانيا وفي معظم المناجم الأوروبية يبلغ متوسط ارتفاع درجة الحرارة درجة مئوية واحدة لكل مائة قدم في العمق، وإن كان هذا التدرج في درجة الحرارة يختلف من مكان إلى مكان في أنحاء العالم؛ ففي مناجم الفحم الحجري بالقرب من مانشيستر – مثلاً – تزداد درجة الحرارة ١١٣° فهرنهيت عند عمق

٤٠٠٠ قدم، وهي درجة حرارة مرتفعة لا تساعد على العمل المريح، بينما لا تزيد عادة درجة الحرارة في جنوب إفريقيا في مناجم الذهب بالقرب من جوهانسبرج على ١٠٠° فهرنهيت عند عمق ٨٠٠٠ قدم. وعند مثل هذا العمق في بريطانيا تبلغ درجة الحرارة ١٧٦° فهرنهيت أو حوالي ٨٠° سنتيجراد.

وعلى هذا يكون التدرج في درجة الحرارة في جنوب إفريقيا حوالي نصف مثيله في أوروبا. ولهذا السبب يفكر رجال التعدين في جنوب إفريقيا في العمل في المناجم إلى أعماق قد تصل إلى ١٢٫٠٠٠ قدم. وفي أمريكا الشمالية يبلغ التدرج في درجات الحرارة نحو ثلاثة أرباع مثيله في أوروبا. وقد يكون اختلاف تدرج درجات الحرارة ناشئًا عن اختلافات طفيفة في مقدار توصيل الطبقات العليا للقشرة الأرضية للحرارة. ومن المحقق أن درجات الحرارة أسفل الطبقات غير المتماسكة، أعلى من مثيلاتها أسفل الصخور السيليسية المبلورة المتماسكة، كما أن توزيع المعادن المشعة قد يكون مهمًا. وزيادة على هذا، فقد تضطرب درجات الحرارة محلياً في مناطق النشاط البركاني، حيث يقترب الصخر المصهور في باطن الأرض من السطح. وفي مثل هذه المناطق تكثر الينابيع الحارة والفوارات، وفي بعض الأماكن – وخاصة على امتداد الساحل الغربي لأمريكا الشمالية، شمالي سان فرانسسكو – وفي إيطاليا وفي اليابان. ومثل هذا المورد من الطاقة يزود المدن والمشروعات الصناعية الكبرى بالقوى المحركة اللازمة. وتعطي آبار الزيت التي تحفر بالقرب من الجبال في كاليفورنيا وفي الهند، تعطي

هذه الآبار – عند سطح الأرض – سائلاً تقرب درجة حرارته من درجة غليان الماء. وفي أيسلندة توصل مياه الينابيع الحارة إلى أنابيب تستعمل في التدفئة المركزية. وتقدر درجة الحرارة في جميع الجهات عند أسفل الطبقة الوسطى للقشرة الأرضية بحوالي ٦٥٠° سنتيجراد.

مواد القشرة الأرضية

يفقد التعبير المعروف "صلب كالصخر" جلاءه عندما نعلم أن كلمة "الصخر" عند الجيولوجيين قد يقصد بها الطين اللزج، أو الرمل غير المتماسك. فهذه، وإن كانت عبارة عن مجموعة من حبيبات معدنية، إلا أنها تعتبر – في العرف الجيولوجي – صخوراً حقيقية، مثلها في ذلك مثل قطعة من الجرانيت أو الحجر الجيري. والمعدن مادة نقية لها تركيب محدد قد يعبر عنه الكيميائي بمعادلة كيميائية محددة؛ فالمرو (الكوارتز) مثلاً، هو نوع من ثاني أوكسيد السيليكون المبلور (س أ ٢). والصخر – من الناحية الأخرى – مع أنه قد يكون كتلة من حبيبات مقترنة أو بلورات من نوع واحد من المعدن يغلب أن تكون من اثنين أو ثلاثة أو ستة أو أكثر من أنواع من المعادن ملتئمة بواسطة مجموعة من العوامل الطبيعية. والملح المتبلور من الماء المالح صخر، وكذا الحمم التي يقذف بها البركان سائلة لتتجمد عندما تبرد عن خليط من المعادن المختلطة. وكذلك تعتبر صخر الكومة من قطع الأحجار التي تكسرت من جرف ثم سحقت متراكمة كالحصى على شاطيء البحر، أو الطين

المكون جزئيات الغرين، والكائنات المجهرية التي ترسب في المياه الهادئة الساكنة القريبة من شاطيء البحر.

الصخور المكونة تحت درجة حرارة مرتفعة:

من المعلوم أن بعض الصخور قد تكونت نتيجة لتبلور – أو على الأقل نتيجة لتصلب – الصخر المصهور. وقديماً لفتت طفوح بركان فيزوف أنظار الإنسان لفتة غير مستحبة.

وهناك كتل صخرية أخرى – تفوق الطفوح البركانية حجماً – تمثل الصخر المصهور المتبلور الذي لم يصل إلى سطح الأرض، وإنما برد ببطء عند مستويات مختلفة داخل القشرة الأرضية. وكيفما كانت الظروف التي بردت تحتها هذه الصخور النارية، فإنها جزء من الغلاف الواقع تحت القشرة الأرضية، والذي – لأسباب غير مفهومة تماماً في الوقت الحاضر – قد أعيد انصهاره ثم شق طريقه إلى سطح الأرض.

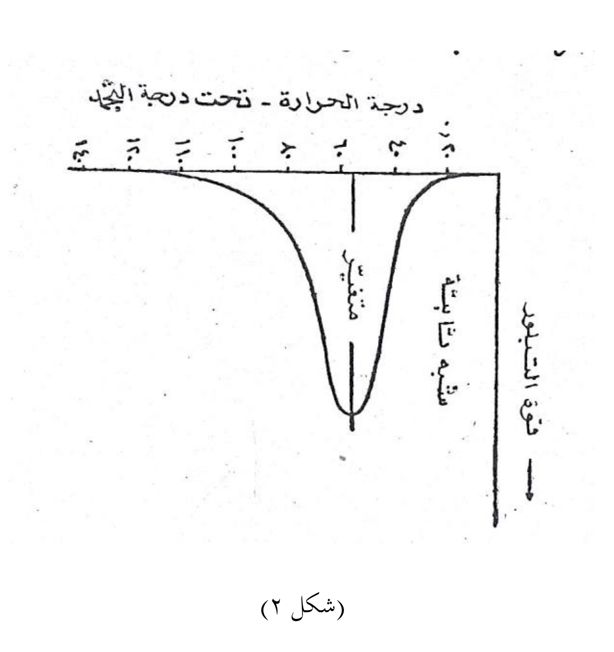
وتكون السيليكا – وهي ثاني أكسيد السيليكون (س أ ٢) – ٦٠٪ من القشرة الأرضية، وهي كأس حمضي تكون سيليكات الألومينيوم والحديد والكالسيوم والمغنسيوم والبوتاس والصودا. والصخور النارية عبارة عن مجموعات من معادن السيليكات هذه، وتتراوح كمية السيليكا بين ٨٠٪، ٣٠٪. وتحدد كمية السيلكا – في التصنيف الكيميائي – ما إذا كان الصخر "حمضياً" أو "قاعدياً". وباختلاف السيليكا تختلف مركبات أخرى، إلا أن كمية السيليكا هي الدليل الأكثر

مناسبة. وفي الصخر الحمضي توجد السيليكا بكمية تزيد عن الاحتياجات القاعدية. وقد يبقى بعضها ليتبلور على هيئة مرو (كوارتز) حر. والأرثوكلاز فلسبار والميكا من المعادن المميزة للصخور النارية الأكثر حمضية. والصخر الناري الحمضي فاتح اللون خفيف الوزن وثقله النوعي حوالي ٧ر٢. ويكون في الصخر القاعدي نقص في السيليكا، ولهذا تظهر المعادن "غير المشبعة". وقد تسود بعض أنواع البلاجيوكلاز فلسبار القاعدية والسيليكات الحديدية المغنيسية القاتمة اللون، ولكنها تميز بظهور الأوليفين – وهو سيليكات مغنيسي قاعدي – وبالمعادن التي تشبه الفلسبار غير المشبع والمعروفة بالفلسباثويدز. وزيادة على ذلك، إذا كان الصخر المصهور القاعدي غنياً بمعدن الحديد، فإن الجزء الزائد منه قد ينفصل على هيئة أكاسيد ليكون معدني الماجنتيت والألمنيت. والصخر القاعدي قاتم اللون ثقيل الوزن ويزيد ثقله النوعي على ٣. أما الصخور النارية المتوسطة التركيب، (بين الحمضية والقاعدية) فلا تحتوي أساساً على الكوارتز أو الأوليفين أو الفلسباثويدز، ولكنها تتكون غالباً من أنواع مختلفة من البلاجيوكلاز فلسبار والسيليكات الحديدية المغنيسية مثل الهورتبلند والأوجيت.

إن نوع الصخر الناري لا يتوقف كلية على التركيب الكيميائي للصخر المصهور، ولكنه يتوقف أيضاً وإلى حد بعيد على الظروف الطبيعية التي تم بروده تحتها.

وقد أظهرت التجارب العملية أنه إذا برد محلول أو كتلة مصهورة لمادة واحدة، فإن البلورات لا تأخذ في التكوين عقب هبوط درجة الحرارة إلى ما تحت درجة التجمد مباشرة، وأن نموها في المبدأ يكون بطيئًا جدًا وحول بعض مراكز قليلة متناثرة. وفي هذه المرحلة يكون توازن السائل – الصلب شبه مستقر. وبازدياد هبوط درجة الحرارة يزداد عدد المراكز بسرعة. ويكون السائل في هذا الوقت في الحال المعروفة "بحالة التحول"، وفيها تترسب البلورات وتسقط. فإذا هبطت درجة الحرارة إلى ما دون درجة التجمد ولم يكن التصلب قد تم، فإن سرعة التبلور تتناقص ثانية كما هو موضح في الشكل رقم ٢.

ويستغرق الصخر المصهور عندما يبرد ببطء وقتًا طويلًا لكي يجتاز مرحلة "شبه الاستقرار"، ويتجمع كل جزء حول مراكز قليلة وبذلك يكون الصخر الصلب الناتج خشن الحبيبات، أما إذا برد الصخر بسرعة فإنه يجتاز مرحلة "شبه الاستقرار" بسرعة أيضاً. وغالباً ما يتصلب في منطقة التحول؛ وبهذا يكون الصخر الناتج دقيق الحبيبات. وفي حالة برود الصخر المصهور بسرعة زائدة، يجتاز مرحلتي "شبه الاستقرار"، "التحول" ويتصلب على هيئة زجاج دون أي تبلور على الإطلاق.



(شكل ٢)

رسم بياني يوضح التبريد الزائد لمعدن الأوجيت (سيليكات المغنيسيوم الحديدية) (عن هاركر)

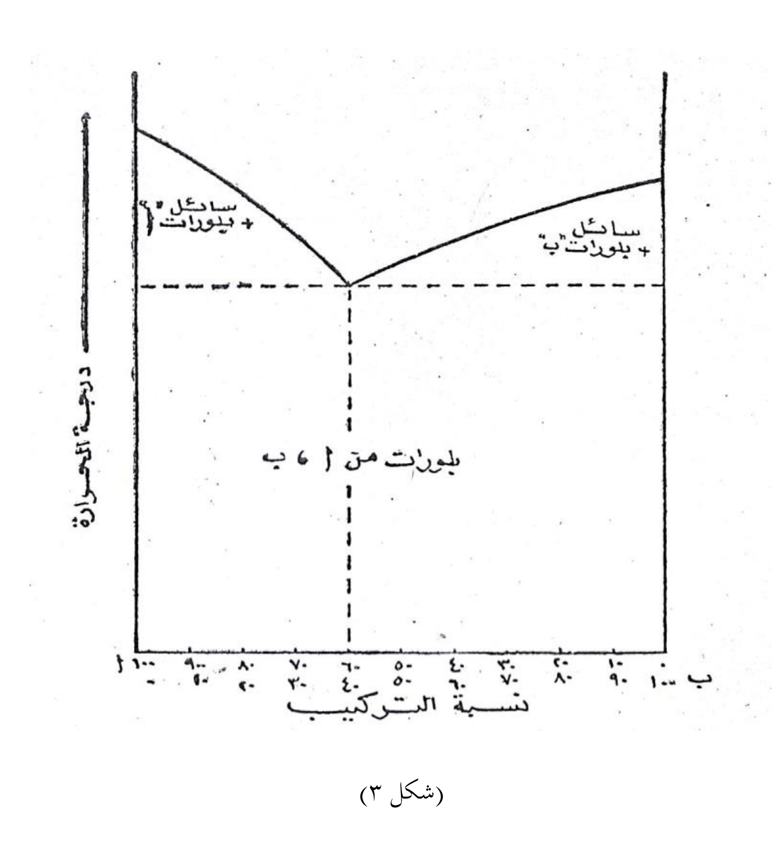
وتعوق اللزوجة العالية حركة الجزيئات، كما أنها تساعد على تكوين عدد كبير من البلورات الصغيرة بدلًا من العدد القليل من البلورات الكبيرة. وفي حالة السيليكات المنصهرة، تتأثر الزوجة كثيرًا بوجود أو عدم وجود المواد التي تساعد على الصهر. مثال ذلك الماء والغازات المختلفة في الصخر المصهور. وإذا ما سكب الصخر المصهور الحمضي على سطح الأرض، فإنه يفقد الغازات الطيارة ويبرد بسرعة؛ وفي مثل هذه الحالات تكون النتيجة غالباً تكوين زجاج. وما حجر الخفاف إلا زجاج طبيعي إسفنجي الشكل، لأن التمدد المفاجئ وإفلات بخار الماء منه أكسبه هذا التركيب الإسفنجي. وقد تصلب مصهور السيليكات اللزجة دون أي تبلور. ولكن مثل هذا الصخر المصهور إذا

ما تداخل بين الصخور في الأعماق، فإنه يبرد محاطًا بالصخور التي تكون هي نفسها في مثل هذه الأعماق حارة تمامًا وتحت ضغط شديد. وعلى هذا تتسرب المواد الطيارة تدريجيًا ويتبلور الصخر المصهور ببطء في نطاق حالة "شبه الاستقرار"؛ ويكون الصخر الناتج خشن الحبيبات، ويكون تبلوره كاملاً مثل الجرانيت. وإن الفروق الواضحة بين الجرانيت وحجر الخفاف ترجع كلية إلى الظروف المحيطة بالصخر المصهور عند تصلبه.

ويتأثر تبلور المادة الواحدة أيضًا بوجود مادة أخرى، لأن مدى درجة حرارة التجمد ينخفض في كليهما نتيجة لذلك، إن معظم الصخور المصهورة عبارة عن سوائل مشتركة من السيليكات ومركبات حمضية مع أصول قاعدية مذاب بعضها في بعض. وقد يبين الشكل رقم ٣ العلاقة بين درجة الحرارة والتبلور لصخر مصهور مكون من مادتين فقط، وغير متشابهتين. ويبين الإحداثي الأفقي للشكل التركيب كنسبة مئوية من المادتين أ، ب، ويبين الإحداثي الرأسي درجة الحرارة.

يتكون في الشكل المخلوط الصلدي من ٦٠% أ، ٤٠% ب. ونجد عند درجات الحرارة بين ت أ، ت ي مخلوطاً يحتوي على ١٠% أو ١٢% فقط من ب، ويكون السائل مشبعاً بالمادة أ؛ وتبعاً لذلك تتبلور هذه المادة أولاً. وعندما تهبط درجة الحرارة إلى ت ي، تتبلور المادتان معاً؛ ولكن بلورات المادة أ تكون أكبر حجماً وأكمل تكويناً. وتكون بلورات المادة ب متخللة بينها كما هو الحال في المرو (الكوارتز) في صخر الجرانيت. على أنه عند درجات حرارة مماثلة، إذا

كان هناك ١٠٪ أو ٢٠٪ فقط من المادة أ، فإن السائل يصبح مشبعاً بالمادة ب، وتتكون بلورات من المادة ب فقط، إلى أن تهبط إلى درجة حرارة التصلد، وعندها تتصلد الكتلة جميعها.



(شكل ٣)

ت أ هي درجة التجمد للمادة النقية أ، ت، ب هي درجة التجمد للمادة النقية ب. إن إضافة المادة ب إلى المادة أ تخفض درجة التجمد، ولهذا ينحدر الخط البياني من النقطة ت أ إلى النقطة ي. وبالمثل فإن إضافة المادة أ إلى المادة ب يخفض درجة التجمد من ت ب. وهناك نسبة محددة تعرف "بنسبة التصلد" وبها تتبلور المادتين سوياً عند درجة تجمد ت ي.

وتتكون معظم الصخور المصهورة من أكثر من مادتين، وتبعًا لذلك تكون عملية التبلور أكثر تعقيدًا، وتزداد العملية تعقدًا لأنه في المصهور

المختلط للسليكات تغطس أو تطفو بلورات المعدن التي تبلورت أولا بحسب ثقلها النوعي؛ وبهذا يتنوع تركيب كميات كبيرة جدًا من الصخر المصهور الآخذ في البرودة. أي أنه يكون عرضة لتغيرات مستمرة في تركيبه. وبوجه عام فإن المعادن القاعدية التي تحتوي على أقل نسبة من السيليكا تنفصل عند أعلى درجات الحرارة. وهذه التعديلات المتتابعة والتفاعلات تترك سائلًا تتبلور منه فيما بعد معادن تحتوي على نسبة أكثر من السيليكا. وقد ذكرنا ذلك ضمنًا فيما سبق عندما تحدثنا عن الصخور المصهورة، الحمضي منها والقاعدي. ويكثر الاهتمام الآن بهذه التفاعلات الطبيعية الكيميائية المعقدة؛ إلا أن تفاصيل مثل هذا العمل يخرج عن نطاق هذا الكتاب. وهذا الموضوع من الأهمية بمكان لمن يصنعون أو يستعملون بطانات الأفران ذات درجات الحرارة العالية، أو لمن يدرسون طبيعة الرغوات المعدنية، أو لمن يقومون بصناعة الأسمنت، كما يهم المشتغلين بدراسة علم الصخور.

ونعود الآن إلى تصنيف الصخور النارية على الأساس المزدوج من تركيبها الكيميائي وكيفية منشئها. والصخور النارية التي توجد في كتل كبيرة والتي تبرد ببطء في الأعماق وتشغل حيزًا يقدر بعدة أميال مكعبة، لها بعض صفات طبيعية مشتركة مميزة، بغض النظر عن تركيبها الكيميائي؛ فهي متبلورة تمامًا، خشنة الحبيبات، وبلوراتها جيدة النمو. ويغلب أن يبلغ قطرها عدة مليمترات أو حتى سنتيمترات، كما يغلب أن تكون متساوية الحبيبات. وهذه هي الصخور النارية الجوفية.

وأما الصخور التي تنتج عن برود الصخر المصهور بسرعة عندما يقذف بها على سطح الأرض، أي الصخور البركانية، فغالباً ما تحتوي على بعض زجاج طبيعي به عدد من البلورات الدقيقة. ومن المميزات الخاصة بالصخور البركانية وجود فجوات بخار الماء، والتركيب المخطط، وهو نتيجة لسريان الصخر المصهور. وقد يوجد في الصخور البركانية قليل من البلورات الكبيرة أتى بها الصخر المصهور معه من الأعماق. وتعطي هذه البلورات الكبيرة الشكل البورفيري للصخور. وقدر القدماء الصخور البورفيرية كأحجار زخرفية. وهذا النوع من التركيبات يعرف بالتركيب البورفيري. وقد بدأ التبلور في مرحلة شبه الاستقرار قبل أن يقذف بالصخر المصهور إلى سطح الأرض. وتمت عملية التبلور بعد ذلك عندما استقرت هذه الطفوح على السطح.

وهناك بين القسمين السابقين، قسم ثالث من الصخور النارية – الصخور المتوسطة – وهي ذات صفات متوسطة مثل منشئها؛ فكثيراً ما يتفرع المصهور المتداخل إلى سدود رأسية أو حوائط من الصخور النارية تدفع في الشقوق أو في مستويات الضعف في الطبقات التي تعلوها. وفي مثل هذه الحالات تكون برودة الصخور أسرع منها في كتلة الصخر المصهور الرئيسية، وذلك لصغر حجمها، ولتماسها مع الصخور المجاورة الباردة. وتتوقف سرعة برودة الصخور في هذه الحالات على عوامل كثيرة، أهمها كمية الصخر المصهور المتفرع من الكتلة الرئيسية وسمك السد الرأسي. ويختلف سمك السدود الرأسية اختلافًا كبيرًا؛ فهو يتراوح بين بضعة بوصات وبين مئات كثيرة من الياردات. ويختلف تبعًا لذلك

نسيج صخور السدود الرأسية، إذ يظهر فيه التدرج الكلي من الصخر الزجاجي الطبيعي إلى صخر تام التبلور لا تقل حبيباته عن مثيلاتها في الصخور النارية الجوفية. ومصدر الطفوح البركانية عند عمق كبير داخل القشرة الأرضية. وقد وصلت هذه الطفوح إلى سطح الأرض عن طريق قصبة أو شق، والصخر المصهور الذي يتبقى في القصبة بعد الثوران البركاني يبرد ببطء عن الصخر المصهور الذي قذف به البركان إلى السطح، ويكون نسيجه محتويًا على أنواع مختلفة، كما هو الحال في الصخور النارية المتوسطة التي تكون السدود الرأسية والأفقية وغيرها بين سطوح الطبقات، كما يكون له نفس مميزاتها الخاصة الأخرى.

ملاحظة: الصخور النارية الجوفية، البركانية، المتوسطة، أو صخور السدود التي صنفناها على أساس كيفية منشئها ونسيجها قد تكون حمضية، متوسطة، أو قاعدية في تركيبها الكيميائي. ويظهر في التذييل رقم (١) تصنيف جدولي للصخور النارية.

الصخور المكونة تحت درجة حرارة منخفضة:

إن معادن الصخور النارية الجوفية قد تبلورت في درجات حرارة تتراوح بين ١٤٠٠°، ٤٠٠° سنتيجراد، وتحت ضغط يختلف بين ٥، ١٠أطنان على البوصة المربعة، عندما تتدخل تحت سلسلة جبال ألبية عالية، والتي قد تعطي حمولة ٢٠،٠٠٠ قدم من الارتفاع. ولذلك فإن هذه المعادن تكون في حالة اتزان حقيقي فقط تحت مثل هذه الظروف

الموجودة في أعماق الأرض. ولكن عندما تظهر هذه الصخور عند سطح الأرض، نتيجة لعوامل التعرية التالية، وتتعرض للماء وللعوامل الجوية، فإن معادنها لا تبقى ثابتة.

وعلى هذا، تتفتت جميع الصخور النارية الظاهرة على سطح الأرض بدرجات متفاوتة. والتغيرات التي تحدث تسمى "التجوية"[1] وتشمل عمليتي الانحلال الميكانيكي والتحلل الكيميائي، وتنشأ عوامل التجوية الميكانيكية عادة من نمو أو حل لضغط موضعي، ينتج عنه إجهاد أو شقوق ليس في الكتل الصخرية كلها فحسب، بل في حبيبات المعادن العديدة.

وتحدث التجوية الميكانيكية نتيجة لفك الضغط، أو لتغير درجات الحرارة فيما بين الليل والنهار، والشمس والظل، والرطوبة والجفاف. وتحدث التجوية الميكانيكية في طقس مثل طقس المملكة المتحدة بسبب التشقق بالصقيع. وتشمل التجوية الكيميائية جميع التفاعلات التي تحدث عندما تجتمع معادن السيليكات بالماء أو الرطوبة الجوية، وخاصة عندما يتحول الماء إلى حمض ضعيف، وذلك عندما يضاف نتاج التحلل العضوي وثاني أكسيد الكربون إليه. وتحت مثل هذه الظروف، يتحلل الفلسبار والسيليكات الحديدية المغنيسية (مثل الميكا السوداء أو البيوتيت، الهورنيلند، الأوجيت، الأوليفين). ودائماً يذوب شيء ما

[1] ترجمة للكلمة الإنجليزية Weathering من الجو.

ويزول، وما يتبقى يمتزج بالماء أو يتأكسد أو يتحول إلى كربونات ويزداد حجمه، ولا يسلم من هذا التحلل سوى (الكوارتز) والمسكوفيت (الميكا البيضاء)، وهما من مركبات الصخور النارية الحمضية نوعاً.

وتتحول أنواع الفلسبار – وهي سيليكات الألومنيوم للبوتاس والصودا والجير – وكذا السيليكات الحديدية المغنيسية، إلى معادن الطين، على أن العملية الكيميائية لهذا التحول ليست مفهومة لدرجة كبيرة. والكاولين وهو الطين الصيني النقي، عبارة عن سيليكات الألومنيوم المائية البسيطة. وتكوين الكاولين من الفلسبار يستلزم إزالة القلويات كلها التي كان يجب أن تذوب في هيئة كربونات في الماء المحيط بها ولكن نسبة القلويات المذابة في مياه الأنهار منخفضة جداً، مما يجعل مثل هذا التعليل أمراً غير مقبول. والظاهر أنه من المحتمل أن قلويات أنواع الفلسبار تبقى في الطين على هيئة ميكا مائية ثانوية؛ وهذه تستبقي كميات كبيرة من القلويات. ولا يمكننا – في الوقت الحاضر – أن نقول أكثر من أن أنواع الفلسبار (وكذا السيليكات الحديدية المغنيسية) تتحول إلى معادن مختلفة من مجموعة "معادن الطين"، وهي مجموعة من المعادن تركيبها الكيميائي معقد، ولكنها تنتسب إلى أنواع الميكا، وحبيباتها دقيقة جداً. وهذا التحول يفكك حبيبات المعادن الأقل قابلية للتغير، مثل الكوارتز والمسكوفيت، ويجعلها حرة؛ وهذه إما أن تتراكم على هيئة تربة، أو تجرفها مياه الأنهار. إن التحلل الكيميائي للصخور النارية، الناتج عن عدم ثبات المعادن المكونة تحت درجات حرارة مرتفعة عند درجات الحرارة المنخفضة، ليس هو المصدر الأخير

لجميع الصخور الراسبة، ولكنه أيضاً مصدر للتربة التي بدونها لا يمكن أن توجد النباتات الأرضية كما جرفها، والتي بدونها لا يمكن أن توجد الحيوانات الأرضية.

وتصنيف الصخور الراسبة التي تكون الشطر الأكبر من الجزء الظاهر من القشرة الأرضية، أصعب بكثير من تصنيف الصخور النارية؛ وذلك لأن مصادرها أكثر اختلافاً، ولأن مدى تركيبها الكيميائي أوسع. ونلاحظ أن من بين الصفات المميزة الأكثر أهمية للصخور الراسبة، أنها تنتشر على مساحات واسعة – غالباً تحت الماء – في طبقات شبه أفقية. وتبعاً لذلك، فإن معظمها يظهر خاصية نظام الطبقات ويظهر في طبقات منتظمة الواحدة فوق الأخرى. وإن تعاقب هذه الطبقات هو الأساس الذي نفسر به تاريخ الكرة الأرضية. (انظر الفصل الرابع) وتنقسم الصخور الراسبة إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي:

١– الصخور الراسبة المكونة من فتات الصخور الأخرى.

٢– الصخور الراسبة العضوية.

٣– الصخور الراسبة الكيميائية.

وتتكون الصخور الراسبة من قطع صخور سبق وجودها – نارية كانت أو راسبة – مع حبات من معادن أكثر مقاومة مثل المرو (الكوارتز)، والنتاج الثانوي للتعرية الكيميائية مثل جزيئات الطين. وهذا النوع من الصخور معروف جيداً سواء في حالة عدم التماسك مثل

الحصى والرمل والطين، أو في حالة التماسك مثل الصخور الصلبة المعروفة كالكونجلومرات، الريشيا، والصخر الرملي، الصلصال، الطين الصفحي. والتصنيف الجيولوجي لهذا النوع من الصخور، هو نفس التصنيف الشائع المبني على أساس حجم الحبيبات. وفي الوقت الحاضر، يظهر أن هذه هي الطريقة العملية الوحيدة، ولو أن من مساوئها أنها تجمع بين صخور تختلف اختلافاً كبيراً في تركيبها وفي منشئها، وخاصة الأنواع الخشنة الحبيبات؛ فقد تكون مثل هذه الصخور تراكمت تحت الماء العذب أو المالح أو فوق الأرض، وقد تكون مواردها انتقلت من مكانها بواسطة الماء أو الهواء أو الجليد، أو قد تكون تراكمت على سفح جبل مباشرة كما هو الحال في الركام الذي يوجد عند أقدام الجبال.

وبالمثل تختلف الرواسب العضوية أيضاً. وتطلق هذه التسمية على جميع الصخور التي تدخل في تركيبها بقايا الحيوانات أو النباتات؛ فالصخور التي من مصدر نباتي تكون عادة فحمية مثل الفحم الحجري البيت، ولو أن لبعض النباتات البسيطة المجهرية هياكل من السيليكا أو كربونات الكالسيوم. والمثال على النوع السيليسي هو "الطينة الدياتومية" ولها أهمية خاصة كمادة عازلة أو كمادة ناعمة للامتساح. وقد تكون الرواسب العضوية التي من أصل حيواني سيليسية أحياناً، (مثال ذلك حجر باربادوس) ولكن الأغلب أن تكون جيرية أو فوسفاتية. وتأخذ الحيوانات والنباتات البسيطة، سيليسية كانت أو جيرية، ما يلزم لبناء محاراتها أو هياكلها من الكيميائيات من محاليلها في الماء، وعلى هذا فهي تستخدم المنتجات المستخلصة بواسطة عوامل التجوية الكيميائية

من الصخور القديمة. والأحجار الجيرية المكونة من المحارات هي أعظم الرواسب العضوية – التي منشؤها الحيوانات – شيوعاً. وكثيراً ما تستخدم هذه الأحجار كأحجار زخرفية. فمثال ذلك الصخور الجيرية المرجانية التي تستعمل عادة في صناعة رفوف المدافئ، كذلك الصخور الجيرية التي تحتوي على سيقان "زنابق البحر" والتي توجد في دار بشير.

وتنشأ الرواسب العضوية عادة من ترسيب المواد الموجودة في المحاليل؛ فالأنهار سواء أكانت مياهها صافية أم عكرة، تحمل موادا مذابة في مياهها إلى البحار. والمياه التي تتبخر من سطوح البحار تحمل ثانية إلى الجو فوق الأرض، وفيه تتكثف على هيئة سحب ثم تهطل على هيئة أمطار. وتعود مياه الأمطار الجارية على سطح الأرض فتذيب كميات صغيرة من الكيميائيات وتحملها إلى البحر. وعلى هذا يكون هناك تركيز تدريجي للأملاح في البحر منذ بدء تاريخ الكرة الأرضية. ويقدر ما تحمله الأنهار إلى البحار في كل عام في الوقت الحالي بما يزيد على ٢٠٠٠ طن من المواد الملحية. وبالرغم من ذلك فإن التركيز هناك صغير جداً، وفي النادر يزيد على خمسة وثلاثين جزءاً في الألف. والمعدن الرئيسي هو ملح الطعام (كلورور الصوديوم) ونسبته منتظمة بشكل عجيب، وهو يكون ٧٨% من مجموع المواد الصلبة الذائبة في مياه المحيطات. أما نسبة كربونات الكالسيوم فهي صغيرة إلى حد بعيد. (٠,٣٤% فقط) وهذه النسبة تتعارض بشدة مع النسبة العالية بين أملاح مياه الأنهار. والسبب في ذلك أن كربونات الكالسيوم تسحب باستمرار من المحلول في البحر بواسطة الحيوانات والنباتات التي تغرز

الجير. وتترسب المواد المذابة في مياه البحر – تحت بعض الظروف – وخاصة في المياه غير العميقة وبعض البحار المقفلة، إما بالتبخر أو بالتفاعلات الكيميائية مع المواد الناتجة من تحلل المواد الحيوانية.

ومن بين أمثلة الترسيب بالتبخر يمكننا أن نذكر طبقات الملح الصخري، الأنهيدريت، الجبس (الألاباستر). ومن بين أمثلة الترسيب بالتفاعلات الكيميائية كربونات الكالسيوم والدولوميت، أي الأحجار الجيرية التي من أصل غير عضوي. على أن الرواسب الكيميائية تشمل أيضاً المواد الاستثنائية والاقتصادية المهمة كأملاح البوتاس والمغنيسيا والنيترات والأيودات والبورات وبعض المواد التي من أصل عضوي مثل الجوانو (فوسفات).

ولإتمام الفائدة يمكننا أن نشير هنا إلى نوعين آخرين من الصخور السطحية القليلة الانتشار، أولهما الرواسب المتخلفة وتحتوي على منتجات عوامل التجوية التي لم تنقل، أعني ركام المعادن المتجوية المتروك في مكانه. ومثال ذلك غطاء "الطين مع الصوان" الذي يغطي جبال الطباشير بجنوب إنجلترا. ومن الأمثلة الأخرى "اللاتيريت" في دول البسارة ورواسب "البوكسيت" الاقتصادية المهمة. والبوكسيت هو خام الألومنيوم الأكثر طلباً. وأخيراً فإن الاسم "الفتاتية – النارية" (بيروكلاستيك) يطلق على الرواسب التي تتكون من قطع صغيرة من الصخور، ولكنها مكونة من قطع من الحمم يقذف بها من فوهة البركان، فهي ليست من القطع الناتجة عن عوامل التجوية. والحقيقة أن هذه

الرواسب ليست من الرواسب التي تتكون تحت درجة حرارة منخفضة، ولكن تركيبها أقرب إلى الصخور الراسبة منه إلى الصخور النارية.

وجميع هذه الصخور التي تتكون تحت درجة حرارة منخفضة – باستثناء الرواسب المتخلفة – يتدرج الواحد منها إلى الآخر بحيث يتعسر الفصل بين أنواعها المختلفة فصلاً تاماً. ويغلب أن تحتوي الصخور المكونة من فتات الصخور الأخرى على حفريات عديدة، ولو أنه يندر أن تحتويها بدرجة تجيز تسميتها بالصخور العضوية. والرواسب الكيميائية قد تكون عضوية أو مترسبة أو بركانية في المنشأ، أو أن تكون نتيجة لترسيب كيميائي. والأحجار الجيرية التي هي في العادة كيميائية بعض الشيء وعضوية نوعاً ما، غالباً ما تحتوي على رواسب مختلفة بحيث إذا ما أذيب الجير بالحمض تبقى كتلة حجرية بالية طينية أو رملية وهي متماسكة، غير أنها هشة.

وهذه الصخور التي تكونت تحت درجة حرارة منخفضة والتي ربما اشتقت بطريقة مباشرة أو غير مباشرة من مشتقات الصخور النارية بعد تجويتها، قد تدفن مرة ثانية وتضغط وتعرض لدرجات حرارة مرتفعة. وعندما يحدث هذا، فإن المعادن المكونة تحت درجة حرارة منخفضة تصبح بدورها ثابتة، وتتكون نتيجة لسلسة جديدة من التفاعلات الطبيعية الكيميائية معادن جديدة من التفاعلات الطبيعية الكيميائية معادن جديدة مميزة لهذه الضغوط ودرجات الحرارة المرتفعة أو يعاد تكوين معادنها. وعلى العموم فهذه العملية ليست عملية عكسية لعملية التجوية، لأن

الفرز الميكانيكي الذي لا بد منه في أثناء عملية النقل والترسيب قد فصل بعض المواد؛ ولهذا توجد العناصر المختلفة المكونة للصخر بنسب أخرى مختلفة. وتفقد "معادن الطين" ماءها وتتحول إلى كلوريت، ميكا. أما كمية الألومنيا الزائدة فتظهر على هيئة كياستوليت أو سيليمانيت أو كيانيت تبعاً لدرجة الحرارة. ويعاد تبلور الحجر الجيري النقي إلى رخام، والحجر الرملي النقي إلى كوارتزيت. ولكن ينتج عن الحجر الرملي المتماسك بمادة جيرية، أو الحجر الجيري الذي يحتوي على طمي أو حبات من الرمل ينتج منها معادن سيليكات الجير (مثل الولاستونيت، التريموليت، الجارنيت)، وهي معادن غير معروفة كلية في الصخور النارية الأولية. وبازدياد عدم فرز الراسب، يزداد قربه من الصخر الناري العادي، ولكن المقابلة التامة في التكوين المعدني تحدث فقط عندما يتحول الصخر الناري نفسه، أي عندما يعاد تبلوره تحت ضغوط ودرجات حرارة مرتفعة.

وتحدث عملية "**تحول الصخور**" بطريقتين: فقد تتدخل كتلة هائلة من الصخور النارية الجوفية بين الصخور فيتحول ما حولها من صخور بالحرارة، ويغلب أن تساعد الغازات المتصاعدة من الصخر المصهور في عمليات إعادة التبلور والتغيرات الأخرى، وهذا ما يسمى "بالتحول الحراري". وفي النوع الثاني المعروف "بالتحول الإقليمي" أو "التحول الديناميكي" يحدث التحول نتيجة للضغوط الهائلة لدرجات الحرارة المرتفعة، وهذا النوع الثاني لا يقتصر على حوافي كتل الصخور النارية المتداخلية كما هو الحال في النوع الأول. بل يؤثر النوع الثاني – كما

يدل على ذلك اسمه "الإقليمي" – على مساحات شاسعة عادة ما يدخل منها في بناء الجبال. فالجزء الأكبر من شمال اسكتلندة، منطقة "تحول إقليمي" وهي – في الواقع – ليست إلا بقية من منطقة أكبر اتساعاً. وهناك أمثلة أخرى منها كندا الشمالية، درع البلطيق (فنلندا، اسكندنافيا).

وأنواع الصخور المتحولة ليست شائعة في إنجلترا وليس لها اسماء شعبية. وينتج من التحول بالحرارة صخور مندمجة، حبيبية منقطة تعرف "بالهورنفلس" وتتميز أنواعها المختلفة بحسب المعادن الموجودة. أما التحول الديناميكي فيعطينا "الصخور المورقة" بسيلها تحت ضغوط هائلة؛ فإذا كانت الصخور خشنة الحبيبات سميت "بالنيس"، وإن كانت دقيقة الحبيبات سميت "بالشيست". تتميز جميع الصخور المتحولة وخاصة في مناطق التحول الديناميكي الشديد، بوجود المعادن العالية الكثافة مثل الجارنيت، وهذا يمثل التنسيق الجزيئي بما يتبعه من تكييف المادة في حجم أصغر تحت ضغوط عالية.

وعلى هذا فنحن نرى في مواد القشرة الأرضية البرهان على عملية مستمرة من تدمير وتجديد للصخور. والعملية أبعد ما تكون عن البساطة وليست – في الحقيقة – دائرية، لأنه بالرغم من أن الكثيرين يؤيدون العكس فإنه ليس هناك برهان أكيد على أن كتلة كبيرة من الصخر الناري قد تجددت من مواد تكونت تحت درجة حرارة منخفضة حتى في الحالات التي تعرضت فيها هذه المواد للضغوط ودرجات الحرارة

الجوفية. فلقد فرزت وغربلت الرواسب في أثناء تكوينها بحيث أن العناصر الكيميائية لا يمكن إعادة توزيعها بالنسبة المطلوبة لإعادة صنع صخر ناري مصهور بمقياس يماثل مقياس كتلة كبيرة من الصخور النارية الجوفية. وبدلاً من هذا، كانت هناك إضافات متكررة لحجم الجزء السطحي من القشرة الأرضية، وكان ذلك دائماً بتدخل الصخور المصهورة مرة ثانية في الأجزاء العميقة من الغلاف الحجري.

الفصل الثاني

بناء القارات

النقل – ترسيب واندماج الرواسب – طي وفلق الطبقات – الحركات الأرضية وعدم توافق الطبقات – الطية المقعرة الإقليمية وعلاقتها ببناء الجبال.

لقد كانت السطوح الأرضية دائماً ولا تزال – في معظم أجزائها – مسرحاً للتعرية والبلي. وإن الرواسب التي تتكون فوق هذه السطوح مثل حصى الأنهار ورواسب البحيرات وطبقات وتلال الركام التي تتركها الثلاجات خلفها عند تقهقرها، وتجمعات الرمل والتراب الذي تسفيه الرياح، والركام المتجمع عند أقدام الجبال.. كل هذه مؤقتة لأنها سوف تتعرى بدورها في اتجاه تسوية القارات نحو مرحلتها النهائية. ولهذا فإن الرواسب الأرضية للعصور الماضية نادرة نسبياً، ومعظم الرواسب التي تكونت في مدى السجل الجيولوجي هي رواسب بحرية. ولما كان من الواجب علينا أن نقتصر على الخطوط العريضة للموضوع، فسوف نشير – عرضاً فقط – للرواسب الأخرى غير التي تتجمع في بيئة بحرية.

النقل: إن الطاقة المتحركة للمياه الجارية تمكنها من أن تحرك المواد التي تم تكسيرها وتفتتها. وفي الولايات المتحدة الأمريكية وحدها

تحمل الأنهار إلى البحر ما يزيد على ثمانمائة مليون طن من المواد الصلبة سنوياً. وتتوقف مقدرة النهر على نقل المواد – بين أشياء أخرى – على حجم حبيبات المواد وعلى سرعة جريان النهر نفسه؛ ولا تختلف هذه السرعة تبعاً لانحدار الأرض فقط، بل تختلف أيضاً تبعاً للقطاع العرضي للنهر، ولانتظام مجراه، ولكمية مياهه. وتشير المعلومات التجريبية إلى أن قوة الحمل للتيار تختلف باختلاف الأس السادس للسرعة، بمعنى أنه إذا ما ضوعفت سرعة التيار فإن قوة حمله لا تزيد بمقدار الضعف فقط، بل بمقدار $٢^{٦}$ أي ٦٤ مرة. وفي حالة التيارات والأنهار الطبيعية يكون الرقم أقرب إلى الأس الرابع أو الخامس، ولكن الزيادة حتى في هذه الحالة تكون كافية لدرجة جديرة بالاعتبار. والمواد الدقيقة الحبيبات في حجم حبيبات الطين تبقى عالقة في الماء بفعل الدوامات، أما المواد الأكثر خشونة فإنها تسحب على طول قاع النهر، متقدمة في غير تواصل بقفزات متوالية قصيرة أو طويلة عندما تزداد قوة التيار وتفوق السرعة الحرجة لاضطراب الماء. أما الحصى الكبير والجلاميد فتبقى ثابتة فيما عدا أثناء فترة الفيضان وعندما تزداد قوة الحمل بدرجة كبيرة يمكن عندها سحبها فوق قاع النهر، بينما تنقل الحبيبات الأقل حجماً وهي عالقة في الماء.

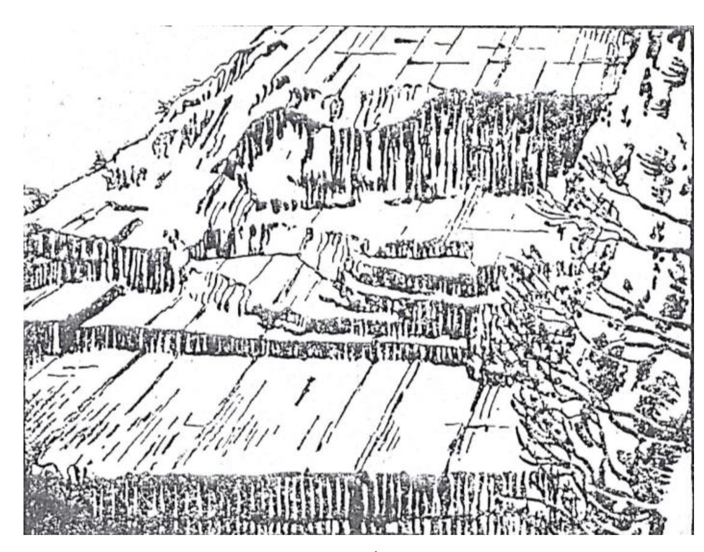
الترسيب والفرز: وبالعكس عندما يدخل نهر في بحيرة أو يصب في بحر تهبط سرعة مائه، وتبعاً لذلك تنقص قوة حمله ويسقط الحمل إلى القاع. وهذا النقص في قوة الحمل يقود في الحالات النموذجية إلى

التدرج في الراسب الناتج، لأن الهبوط في السرعة يكون تدريجياً ومتتالياً. ولهذا فإننا ننتظر أن يكون سقوط المواد بترتيب حجمها ووزنها؛ فنجد الحصى أولاً ثم الرمل الخشن فالرمل الناعم، أما في داخل البحر أو البحيرة فإننا نجد الطمي والطين. وهذا هو الواقع إلى حد بعيد وخاصة في الأحجام الخشنة للحبيبات وحتى في الأحجام الناعمة للحبيبات في رواسب البحيرات العذبة. وتحدث استثناءات في حالة وقوع المواد الناعمة فيما بين حبيبات المواد الخشنة وفي حالة تجمع المواد الطينية العالقة في الماء عندما تقابل مياه النهر مياه البحر المالحة؛ فعندما تتقابل المواد الطينية الدقيقة الحبيبات مع محلول موصل للكهرباء (مثل ماء البحر)، فإن كان جزيئة منها تفرغ شحنتها الكهربائية الصغيرة، وبهذا تتجمع الجزيئات من الطين لتكون خاثرات يغلب أن تكون كبيرة لدرجة أنها تحيط بحبيبات صغيرة من المرو (الكوارتز) وثقيلة لدرجة أنها تسقط مع حبات الرمل. وهذا هو تفسير الاختلاف بين الرواسب الطينية للخلجان (التي تتأثر بالمد والجزر) وكذا مسطحات الرمل الطينية الموجودة عند مصاب الأنهار، وبين رواسب دالات الأنهار في البحيرات، إذ تكون رملية نظيفة. ولكن مثل هذه المواد غير المفروزة غالباً ما يعمل عليها المد والجزر، والتيارات البحرية، فتستخرج منها المواد الناعمة وتحملها إلى حيث تكفي لها في الأجزاء العميقة من البحر والأكثر سكوناً. فإذا رسبت المواد الطينية، تبقى مستقرة للغاية، ويصبح جرفها أصعب من جرف المواد الرملية.

والقاعدة أن الرواسب لا توجد – على الأرصفة الضحلة المحيطة بالقارات – مرتبة في مناطق بحسب حجم حبيباتها الأخشن فالأنعم إذا ما اقتفيت من الداخل إلى الخارج، وقد تكون حبيبات هذه الرواسب مفروزة بدرجة فائقة ولكن ذلك يكون في أجزاء متفرقة وليس في مناطق منتظمة. وتصل الرواسب الدقيقة الحبيبات فقط إلى منحدر القارات، أما أعماق المحيطات فهي بعيدة كل البعد عن الرواسب المشتقة من القارات. أما طين المحيط، وهو يختلف عن غرين الأعماق العضوي فيتراكم هو أيضاً بعيداً عن الشاطئ ببطء شديد، فمنشؤه الأتربة البركانية والسماوية التي تتساقط من الغلاف الجوي.

تراكم الرواسب واندماجها: تتراكم الرواسب في أي منطقة ترسيب طبقة فوق أخرى، وغالباً ما تختلف هذه الطبقات – إن قليلاً أو كثيراً – في تركيبها تبعاً لاختلاف طبيعة المواد التي تجلبها الأنهار أو لاتجاه التيارات البحرية أو لقوتها أو لعمق البحر نتيجة لحركات القشرة الأرضية. فطبقة من الطين قد يعقبها طبقة من الرمل أو من المواد الجيرية، وكثيراً ما يوجد تناوب منتظم لأنواع من الصخر في رواسب قليلة السمك. والغالب أن يكون هناك ترتيب أفقي للطبقات أو لحبيبات الصخر حتى ولو كانت المواد المتراكمة من نوع واحد وبدون توقف، وذلك لأن الأجزاء غير المنتظمة الشكل تترسب لحد ما بحيث يكون المحور الأطول لها أفقياً. وتتراكم الصخور الراسبة مثل أوراق الخريف، وحتى ولو كانت جميعها من نوع واحد، فإن كل طبقة تمثل سطحاً سابقاً لقاع البحر، وقد تنقصها التماسك فيما بينها وبين ما يعلوها أو يسفلها من طبقات وسطوح الطبقات – كما يطلق عليها – التي تفصل الطبقات

الواحدة عن الأخرى قد تبعد عن بعضها (شكل رقم ٤) وتعرف بين عمال المحاجر "بالصخر الطليق" وفي مثل هذه الحالات يمكن الحصول على ألواح يتراوح سمكها بين ١٠ أو ١٤ قدماً، وقد تكون سطوح الطبقات متقاربة جداً من بعضها كما هو الحال في "الصخر الطيني الصفحي" وفيه قد يوجد من ٥٠ إلى ١٠٠ سطح للطبقات في سمك لا يتعدى البوصة الواحدة. وتعزى طبقة الصخر الطليق إلى وجود الطبقات، بينما يمثل الصخر الطيني الصفحي "نظام الصفائح"؛ على أنه ليس هناك حد فاصل يفصل تماماً بين النوعين. ويعين كل سطح للطبقات فترة مؤقتة يتعطل فيها ورود مواد الترسيب ويغلب أن تكون هذه الفترة أطول بكثير من الوقت الذي استغرقه ترسيب الطبقة.



(شكل ٤)

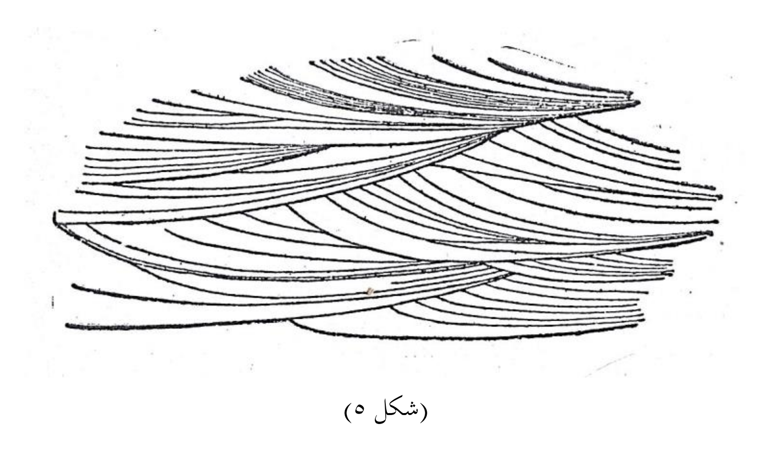
رواسب أفقية تقريباً في نيويورك الوسطى، تبين سطوح الطبقات والفواصل الرأسية في اتجاهين متعامدين.

(رسمت من صورة شمسية في كتاب "الجيولوجيا التركيبية" لمؤلفه ك.م. نيفن)

وبازدياد سمك الراسب يزداد الضغط فوق الطبقات التي ترسبت أولاً، فتأخذ هذه في الاندماج. والمرحلة الأولى والأكثر أهمية في عملية الاندماج هي طرد الماء من الصخور وخاصة الصخور الطينية الصفحية. وقد يبدو غريباً لأول وهلة أن الطين يضم فقط من ١٠ إلى ٢٠٪ من المواد الصلبة، والباقي وقدره من ٨٠ إلى ٩٠٪ ماء. وتحت ازدياد ضغط الثقل الذي فوقه يطرد بعض الماء الذي يحتويه وتلتصق الجزيئات القشرية ويصبح الطين صلصالاً مطاوعاً، ولكنه لا يزال يشمل من ٣٠ إلى ٣٥٪ من الماء. ويطرد معظم هذه الكمية من الماء عندما يدفن الطين في أعماق أكبر ويصبح الصخر طيناً صفحياً أو صخراً طينياً. وهذا الاندماج النهائي تتبعه تغييرات كيميائية وإعادة في التبلور أيضاً، ويساعد في المراحل الأخيرة في هذه العملية – كما هو الحال في اندماج صخر رملي – ارتفاع في درجة الحرارة بسبب غطاء الرواسب التي تكون فوقه. ويصبح الراسب المتراكم جزءًا من القشور الأرضية، ويتبع ذلك التدرج معها في درجات الحرارة. واندماج الصخور المسامية قد يصاحبه تماسك حبيباته؛ إذ أن بعض المواد مثل السيليكا، كربونات الكالسيوم، أكاسيد الحديد تذوب ثم يعاد ترسيبها من المحاليل عند ما تشق طريقها إلى المسام الموجودة بين جزيئات الصخر.

إن تجفيف واندماج الرواسب يوضحان سطوح الطبقات ويسهمان في تكوين الشقوق أو الفواصل في الصخور في اتجاهات متعامدة تقريباً مع سطوح الطبقات (شكل رقم ٥). وإن الانكماش بسبب الجفاف، انكماش الصخور النارية عندما تبرد، وضغوط القص الناتجة عن الحركة داخل القشرة الأرضية أو عن التغييرات فيما فوقها من حمل.. كل هذه تؤدي إلى تكوين الفواصل، وفي الأعماق تحت الأحمال الثقيلة تبقى سطوح الطبقات مقفلة،

ولكن إذا ما أزيلت هذه الأحمال الثقيلة نتيجة لعوامل التعرية التالية، فإنها تصبح شقوقاً مفتوحة وتزيدها عوامل التعرية اتساعاً. ولولا وجود سطوح الطبقات ومجموعات الفواصل المنتظمة لكانت عمليات التحجير شاقة جداً، على أن تكوين الفواصل الكثيرة غير المنتظمة نتيجة للضغوط الشديدة يجعل الصخر عديم الفائدة ربما باستثناء استعماله كمادة لرصف الطرق.

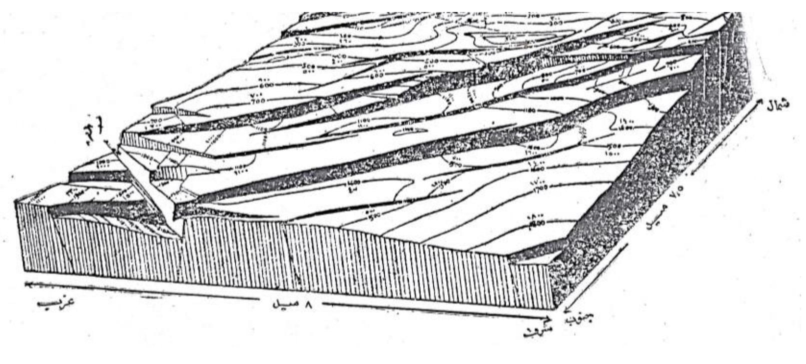


(شكل ٥)

يبين طبقات التيار أو الطبقات الكاذبة على مقياس صغير في طبقة رقيقة من الطمي الناعم من التكوين الترياسي (طفل كويبر) – نونتجمهمشير. (مكبر حوالي ٥ مرات).

طي الطبقات وفلقها: كثيراً ما يحدث في تاريخ الكرة الأرضية أن تهبط الأرض تحت البحر أو يرتفع قاع البحر ليكون أرضاً جديدة؛ وتوجد الأدلة على ذلك في الشواطئ المرفوعة والغابات المغمورة حول شواطئ المملكة المتحدة. وعندما ترتفع منطقة – تراكمت فيها الرواسب – لتكون أرضاً جديدة، فقد يكون ذلك نتيجة التواء خفيف في القشرة الأرضية لا يتسبب عنه سوى تغير يسير في الوضع الأفقي الأصلي لسطوح الطبقات، وربما لا يحدث أي تغيير. على أنه من الناحية الأخرى قد يصاحب ذلك تجعيد وتصدع في الطبقات.

طي الطبقات: هو الاصطلاح المستعمل للتعبير عن التغيرات التي تطرأ على طبقات الصخور المشابهة للتموجات الخفيفة أو الموجات التي تحدث على سطح الماء أو الطيات التي تحدث لبساط إذا ما أسئ فتح الباب. والطية المعقودة التي تميل فيها سطوح طبقات الجانبين في اتجاه يبتعد عن مركز أو محور الطية تطلق عليها "الطية المحدبة"، بينما الطية الحوضية – وفيها تميل سطوح طبقات الجانبين في اتجاه المركز أو المحور – فيطلق عليها "الطية المقعرة". أما "الفوالق" فهي تحركات أو شروخ في القشرة الأرضية، وهي المخرج الوحيد للإجهاد في الطبقات، ويصاحبها تغير في أوضاع الكتل الصخرية على جانبي الشرخ.



(شكل ٦)

شكل مجسم يبين سطح طبقة الفحم الحجري العليا في "بيستن" كما تظهر إذا ما أزيل ما يعلوها من طبقات في منطقة تبلغ مساحتها ٦٠ ميلاً مربعاً بالقرب من ويكفيلد. وقد رسمت خطوط المناسيب بفاصل قدره ١٠٠ قدما تحت منسوب سطح البحر. ويلاحظ اختلاف رمية الفوالق وكيف أنها تنتهي – جانبياً – إلى لا شيء. وتبين الخريطة الفوالق الكبيرة فقط، إذ أن الفوالق الصغيرة كثيرة العدد ورمياتها صغيرة جداً. والمنطقة معروفة بالتفصيل – مثل معظم مناطق حقول الفحم الحجري – نتيجة لعمليات التعدين. وليس هناك ما يدعو للاعتقاد بأن الفوالق الموجودة في هذا الجزء الصغير من القشرة الأرضية أمر غير عادي (مبسطة ومصغرة من تقرير للمساحة الجيولوجية عن ويكفيلد)

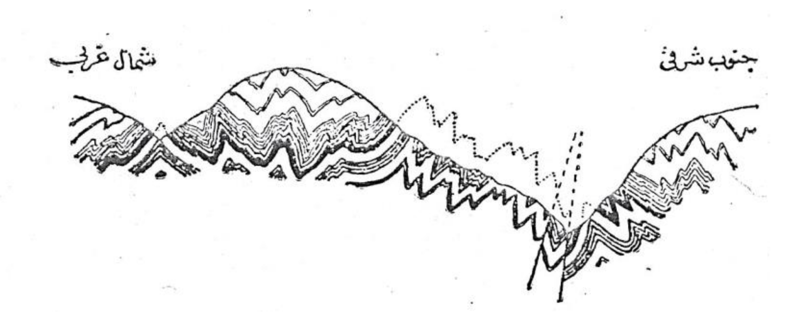
عدم توافق الطبقات: وما دامت عملية الترسيب مستمرة دون توقف، فإن طبقات الصخور تتكون واحدة تلو الأخرى، وتكون سطوح الطبقات متوازية بعضها لبعض، أي أن الطبقات "متوافقة". فإذا ما رفعت المنطقة لتكون أرضاً جديدة، فقد يصيب طبقاتها طيات أو فوالق، أو ربما أصابها انحدار خفيف فقط، ولكن طبقاتها تبقى متوافقة مهما كان الشكل الجديد الذي تتخذه. وبمجرد رفع المنطقة فوق منسوب سطح البحر، فإن عوامل التعرية تبدأ بالعمل فيها، فإذاكان هناك متسع من الوقت فإن جميع الاختلالات أو الطيات التي اعترت الطبقات تسوى إلى أرض مستوية ترتفع قليلاً عن منسوب سطح البحر. وإذا حدث أن هبطت هذه المنطقة وأصبحت منطقة ترسيب من جديد، فإن مجموعة أخرى من الطبقات سوف تتكون فوق أطراف مجموعة الطبقات القديمة المتعرية. وسوف تستقر هذه المجموعة الجديدة فوق الطبقات القديمة، يفصلها عن بعضها سطح "غير متوافق". ومهما يحدث من تغيرات تالية لمجموعة الصخور الجديدة، فإن المجموعة القديمة سوف تتأثر بهذه التغيرات، ولكنه من المستحيل أن تتوافق سطوح طبقات المجموعة الحديثة مع سطوح طبقات المجموعة القديمة، لأن المجموعة القديمة قد مالت وطويت وتصدعت قبل أن توجد المجموعة الجديدة.

ويمثل "عدم التوافق" انقطاع طبيعي للتسلسل الجيولوجي المنتظم لمثل هذه المنطقة، فهي سجل لفترة طويلة من الزمن لا تمثلها رواسب في طبقات هذه المنطقة بالذات. ولا يمكننا تحديد هذه الفترة غير

الممثلة إلا عندما يقارن بطريقة ما بين المجموعتين من الطبقات القديمة والجديدة، وبين مثيلاتها في مناطق أخرى كان الترسيب فيها مستمراً وتتابع طبقاتها تاماً. ولحسن الحظ يندر أن يتعذر وجود مثل هذه المنطقة لأنه كان هناك دائماً مناطق مغطاة بمياه المحيطات، وكان الترسيب المستمر موجوداً في منطقة ما، على أنه قد تصعب المقارنة في بعض الأحوال.

الطية المقعرة الإقليمية: سبق أن أشرنا إلى ضرورة الهبوط الموضعي لقاع البحر لإيجاد مكان للمواد المترسبة إذا ما تراكمت إلى سمك عظيم في منطقة معلومة، فإذا كان الهبوط سريعاً جداً، فإنه ينشأ عن ذلك تعميق في البحر، وتبعاً لذلك تتغير طبيعة الراسب إلى أنواع حبيباتها أنعم وطينية أكثر، ولكن الترسيب يظل مستمراً. أما إذا لم يكن هناك حركة هبوط، فإن البحر يملأ بالطمي وعندها تنقل مواد الترسيب إلى منطقة أخرى، وبهذا يتحتم وجود انقطاع في تتابع الترسيب. ولما كان من المتعذر إيجاد التوازن التام في التوفيق بين سرعة الهبوط والترسيب، فإن تعاقب الصخور الراسبة يملأ بعدد لا حصر له من الانقطاعات الصغيرة، وهذه لا تعني – في الغالب – فترات طويلة من الزمن. وفي بعض المناطق يمتد التوفيق بين الهبوط والترسيب بدرجة كافية، تسمح بتراكم نحو من ٤٠٫٠٠٠ إلى ٥٠٫٠٠٠ قدم من رواسب المياه القليلة العمق في تتابع مستمر. ومعنى ذلك تكوين وحدة واحدة من الرواسب سمكها نحو تسعة أميال. والظاهر أن هذا هو أقصى ما يمكن للهبوط والترسيب أن يصلا له. ومما يلاحظ أن هذا السمك يعادل تقريباً سمك

الطبقة الجرانيتية في القشرة الأرضية، ولا بد أنها صاحبت تعديلاً كبيراً في القشرة الأرضية نفسها، إن لم تكن قد نجمت منها بالفعل.



(شكل رقم ٧)

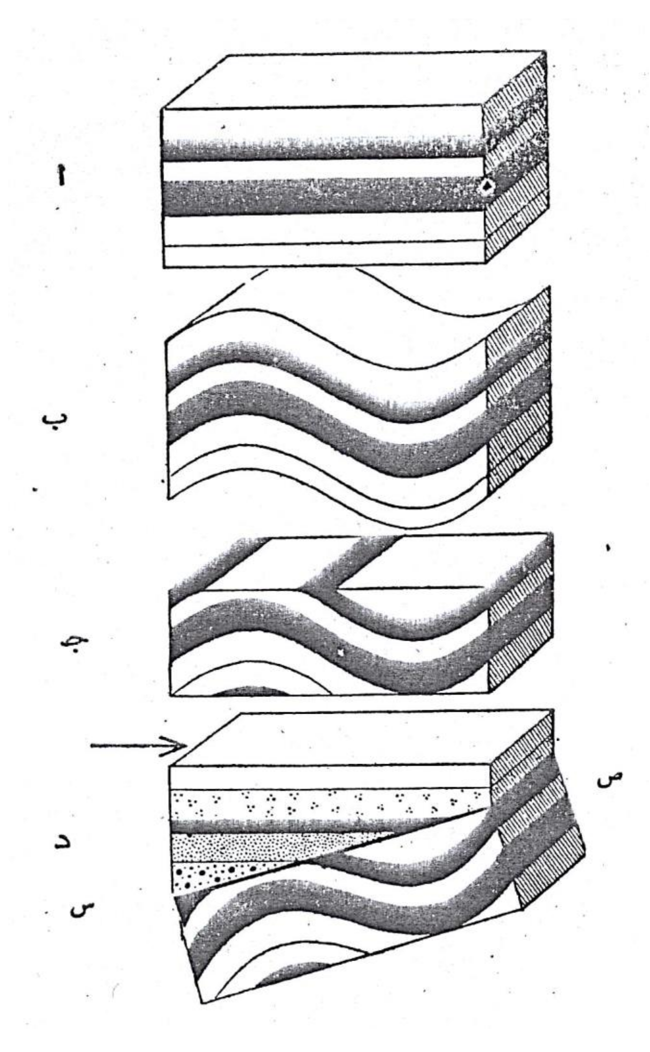
قطاع يبين طبقات مطوية بشدة في منطقة الطين الصفحي المضغوطة من تكوين حقب الحياة القديمة الأسفل، في الجزء الجنوبي من مرتفعات أسكتلندة. يبلغ طول هذا القطاع نحو ٥ر١ ميلا (مبسط ومصغر من تقرير المساحة الجيولوجية عن الصخور السيلورية في أسكتلندة). يجب مقارنة هذا الطي الشديد مع الانثناءات الخفيفة في طبقات طية لندن المقعرة (شكل رقم ٢٨).

ويطلق على مثل هذا النوع الضخم من أحواض الترسيب اسم "الطية المقعرة الإقليمية"، ومثل هذه الظواهر لها علاقة مهمة بموضوع هذا الفصل من الكتاب – وهو موضوع بناء القارات – لأنها، بحسب مبلغ علمنا، تصبح مركزاً للحركات الانقلابية للقشرة الأرضية. وقد يستمر هذا الترسيب الهادئ في مثل منطقة الهبوط هذه مدة قد تبلغ مائة مليون عاما، وقد يستمر ويزداد معه الضغط على المستويات السفلى من القشرة الأرضية. وعند ذلك يجئ دور عدم الاستقرار وإعادة التنظيم، وتتكون أنواع الطيات والفوالق المتناهية في الشدة، وتظهر سلاسل الجبال المهمة مثل جبال الألب، الكاربات، القوقاز، الهيمالايا. وتقع

جميع هذه السلاسل من الجبال فيما كان – منذ زمن غير بعيد – مناطق طيات مقعرة إقليمية.

تبين القطاعات الرأسية الموضحة في الشكلين رقم ٩، ورقم ١٠ أنواع التركيب التي نقرنها مع الاصطلاح "حركة بناء الجبال". وفيها توجد الفوالق ذات الزوايا الحادة والمعروفة باسم "فوالق الدفع"، وفوق سطوحها تنقل كتل الصخور في اتجاه أفقي تقريباً ولمسافات تبلغ عشرين ميلاً أو تزيد. كما توجد "طيات مقلوبة" ضخمة تكاد تكون أفقية، وهي توضح بجلاء الانتقالات الجانبية العظيمة للصخور.

والسبب في تكوين الطيات المقعرة الإقليمية غير معروف، على أنه من المحتم أن يكون هناك إسالة وجريان جانبي لبعض المواد – التي يغلب أن تكون من الطبقة البازلتية للغلاف الصخري – من أسفل هذه الأحواض التي يتزايد عمقها. ويغلب أن تقترن دائماً الحالة الطويلة للتراكم الموضعي – في مراحلها الأخيرة – بنشاط ناري مع خروج سيول من الحمم في مناطق إقليمية شاسعة، ويتبع ذلك طي الطبقات وتداخل الصخور النارية ومجموعات كبيرة من السدود الرأسية. وليس هناك شك في أن تعويض حوالي ٤٠٠٠٠ قدما من الرواسب الجديدة بسمك يماثلها من المواد البازلتية أو الجرانيتية أو الصخور الراسبة المتماسكة، ينتج عنه إضعاف للقشرة الأرضية في المنطقة التي يحدث فيها.



(شكل رقم ٨)

مراحل تكوين "عدم التوافق" في الطبقات من أعلى إلى أسفل:

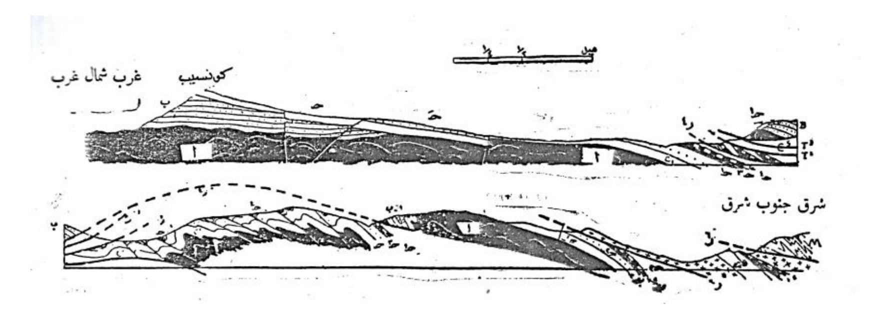
(أ) مجموعة طبقات متوافقة لم تتغير من موضعها

(ب) نفس المجموعة وقد اعتراها الطي ورفعت فوق منسوب سطح البحر

(ج) نفس المجموعة بعد تعريتها واستواء سطحها

(د) ترسيب مجموعة طبقات جديدة غير متوافقة مع مجموعة الطبقات القديمة.

س – ص: هو مستوى أو سطح "عدم التوافق". ولقد ترسبت المجموعة الجديدة في بحر يطغى على الأرض في اتجاه السهم، ولهذا فإن كل طبقة من طبقات المجموعة الجديدة يتضاءل سمكها ثم تتلاشى وتغطيها الطبقة المتوافقة التي تعلوها. وقد كانت المنطقة حول (ص) أرضاً، بينما كانت المنطقة حول (س) تستقبل الرواسب.



(شكل ٩)

قطاع في اتجاه غرب شمال غرب إلى شرق جنوب شرق يمر ببلدة "كانيسب" في الجزء الشمالي الغربي من مرتفعا أسكتلندة يبين تأثيرات الدفع.

أ= تيس بريكامبري، ب= حجر رملي توريدون (بريكامبري) يعلو أ في غير توافق، جـ١– جـ٥= طبقات مختلفة من التكوين الكامبري الأسفل تقع فوق أ، ب في غير توافق، م= شيست موان وهو مرفوع بالدفع فوق التكوين الكامبري من الشرق. ت–ت٦= سطوح الدفع. ت١– ويسمى "بالفعل" يحمل تيس بريكامبري وما فوقها من صخور التكوين الكامبري فوق الطبقات غير المطوية ناحية الغرب. ت٤– فالق بن

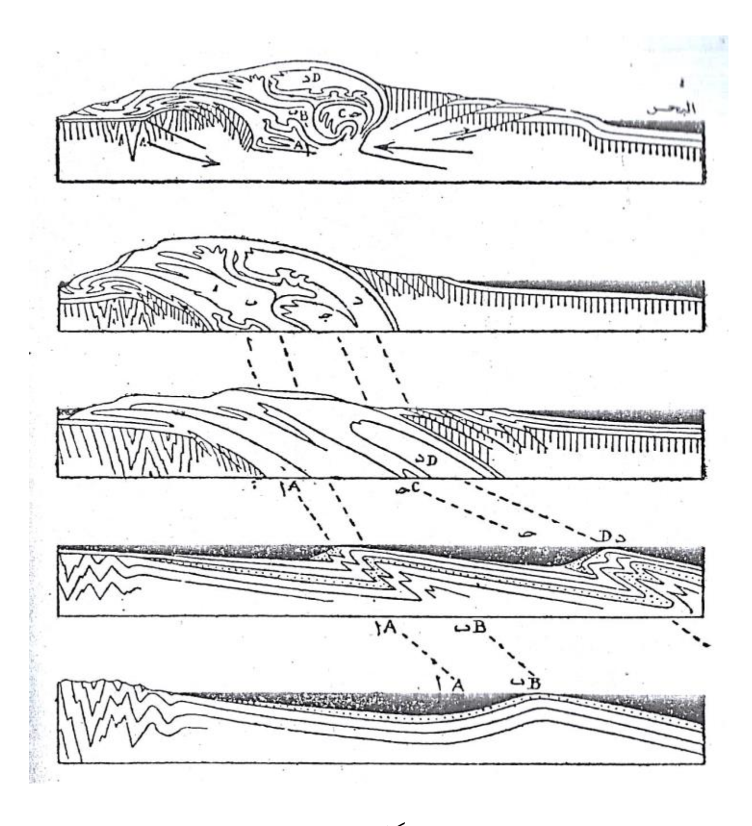
مور وقد حملت تيس بريكامبري وحجر رملي توريدون وصخور كامبرية إلى ناحية الغرب فوق ت١، والدفوع الصغيرة ت٢، ت٣= دفع موان العظيم.

والقطاع مبسط عن المساحة الجيولوجية لبريطانيا، ولقد حذفت الصخور النارية المتداخلة عند "كانيسب" ولكن بينت السيانيت

وقد يكون منشأ الضغوط في الكرة الأرضية – إلى حد ما – نتيجة لانكماش باطن الأرض مع فقدان في الحرارة مما يستدعي انكماشاً مماثلاً في القشرة الأرضية، وإلا تركت هذه القشرة بغير دعائم، وسوف يلاحظ أن الحركة الأرضية الغالبة التي تبينها الدفوع هي حركة جانبية لها مركبة رأسية أقل منها درجة. إن المقارنة الشائعة بين تجعدات القشرة الأرضية وتجعدات قشرة التفاحة الجافة، مقارنة لا بأس بها، إلا أنه في حالة التفاحة يكون انكماش لبها سبباً في تجعدات سطحها كله بدلاً من تجعدات موضعية في حالة القشرة الأرضية.

ولقد قدر علماء الجيوفيزيقيا أن انكماش القشرة الأرضية يجب أن يكون حوالي ٥٠ إلى ١٠٠ ميلا لكل تعديل رئيسي فيها، وأن هذا لا بد وأن يكون قد حدث ست مرات في غضون الـ ١٥٠٠ مليون سنة الأخيرة. ومعنى ذلك أنه يجب أن يكون هناك ست حقب مفصلة لحركة بناء الجبال فيما انقضى من الزمان المقدر منذ أن تكونت أقدم الصخور. ويقرر الجيولوجيون وجود أربعة من مثل هذه الحقب – على الأقل – في تاريخ بريطانيا، وأنه من الصعب الوصول إلى معرفة آثار الحقب الأولى، وأما أكثرها قدماً فقد يكون غامضاً لدرجة أنه يتعذر الدليل الكافي للكشف عنه. والتوفيق بين النظرية الجوفيزيقية والملاحظات الجيولوجية يكاد يكون تاماً بحيث يجعل هذه

النظرية مقبولة. على أن تقدير الجيولوجيين لمقدار الانكماش يفوق كثيراً تقدير علماء الجيوفيزيقيا؛ فهم يقدرونه من ١٠٠ إلى ٢٠٠ ميل على الأقل في حالات مختلفة. ولا يوجد للآن تفسير مرض لهذا الاختلاف.



(شكل ١٠)

المراحل الفرضية لتكوين الجزء الغربي من العصر الفحمي إلى العصر الثلاثي الحديث لتكوين الجزء الغربي من الألب.

(مبسط من قطاعات من عمل الأستاذ أ. أرجاند)

أسفل: بحر العصر الفحمي وبه طية محدبة إقليمية (ب) وطية مقعرة إقليمية (أ) بحر العصر اللياسي وتظهر تعرية قمم الطيات المحدبة (ب، د) والترسيب في مناطق الطيات المقعرة (أ، جـ).

أعلى: ثلاثة مراحل متوالية لطي التكوين الثلاثي، وهي توضح نشوء مناطق الطيات المحدبة والطيات المقعرة الإقليمية وتطورها إلى طيات مقلوبة (أ، ب، جـ، د) كما تبين ضيق ثم تلاشي جذور هذه الطيات.

وجبال الألب في الوقت الحاضر عبارة عن البقايا المتعرية للتراكيب الموضحة في المرحلة الأخيرة.

ويمكننا الآن أن نجمل العمليات التي تدخل في بناء كتلة جديدة من الأرض؛ فالترسيب يستمر طول الوقت، وعوامل التعرية لسطوح الأرض تعطي فتات الصخور، بينما تكون المناطق المغطاة بمياه المحيطات أوعية أو مواقع التجميع لهذه المواد. وبسبب عمليات – غير مفهومة – تجرى داخل القشرة الأرضية، فإن تراكم الرواسب – في منطقة حوضية مستطيلة – قد يستمر ليكون رواسب سميكة للغاية. ومثل هذا الترسيب قد يستمر لمدة ١٠٠ مليون عاما أو أكثر، ويبقى دون اضطراب – سوى في فترات قصيرة – طول هذه المدة، وقد ينشأ عن الاضطراب الموضعي للقشرة الأرضية طيات وفوالق قد تكون شديدة، ولكنها ليست من نوع "بناء الجبال" على مقياس واسع إقليمي. ويستدل على فترات الارتفاع عن سطح البحر بواسطة عدم توافق الطبقات التي قد تكون صغيرة وقد تكون كبيرة في أحيان أخرى. وتاريخ الرواسب معقد

ولكن يمكن اعتباره فصلاً واحداً، وتعقبه فترة من الخضوع للاضطرابات الشديدة التي تنحصر في المناطق التي يبلغ فيها الترسيب أشده، لأن في هذه المناطق يكون ضعف القشرة الأرضية قد بلغ أقصاه. وترتفع سلاسل الجبال إلى آلاف عديدة من الأقدام، وتصبح المناطق التي كانت مناطق انعمار وترسيب مناطق جبال عالية – تظهر من جديد كما خلقت العنقاء من جديد*– وتعمل فيها عوامل التعرية من جديد. (تقول الأسطورة أن طائر العنقاء خلق من جديد من رماده بعد حرق الطائر. والتشبيه أن الجبال تخلق من جديد من فتاتها من قيعان البحار بعد تكسير الجبال وترسيب فتاتها في البحار)

الفصل الثالث

نشوء وتطور المناظر

نحت وادي النهر– بدء نشأته، اكتمال تكوينه، نهاية تكوينه – تسوية السطوح – تأثيرات الغمر والانكشاف على سطح الماء – تعديل الشكل الخارجي للأرض (الطبوغرافية) بفعل الجليد – تحويل التصريف بفعل الجليد – التعرية والترسيب بفعل الرياح – الكثبان الرملية ورواسب الرمل المسفي – التعرية البحرية وشكل الشاطيء – تأثيرات الغمر والانكشاف على سطح الماء.

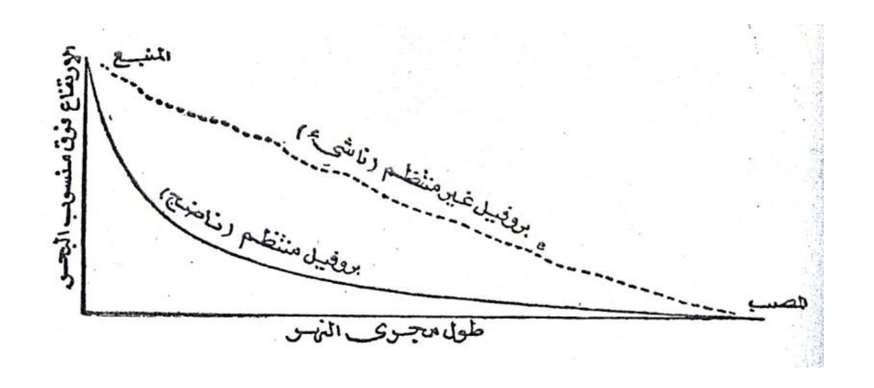
سبق أن أشرنا في إيجاز إلى تأثيرات عوامل التجوية الميكانيكية والكيميائية عند شرح منشأ الصخور المكونة تحت درجة حرارة منخفضة، وسوف نناقش هذه العمليات عندما نتكلم عن منشأ التربة. غير أنه يجب ألا يغيب عن ذهننا هنا أن الصخور السطحية لكل جزء من سطح الأرض تتفتت وتتحول إلى غطاء من القطع الصغيرة أو الجسيمات المتحللة جزئياً أو تامة التحلل. ويمتد فعل العوامل المتسببة في هذا التحلل إلى عمق محدود؛ فإذا ما تراكمت هذه المواد في موضع تكوينها، فإن عملية التحلل تسير ببطء ثم تتوقف في النهاية. فعوامل التجوية وحدها لا يمكنها أن تخفض المستوى العام لأي جزء من سطح

الأرض إلى حد كبير. ولكن إذا أزيلت هذه المواد بعامل من عوامل النقل مثل الأنهار أو الرياح أو الجليد أو بفعل الجاذبية، فإن سطوحاً جديدة تتعرض لعوامل التجوية التي تستمر في عملها. وعلى هذا فإن الأشكال التي يأخذها أي جزء من سطح الأرض عند تعرضه لعوامل التعرية، تكون نتيجة للعمليات المزدوجة، وهي التجوية والنقل التي تعمل في تآزر تام بحيث لا يمكن فصل أحدها عن الآخر.

نحت وادي النهر: لم يشاهد أحد بدء مجموعة نهر على قارة انكشفت حديثاً على سطح الماء، ولكن ما دام واضحاً أن سطح الأرض لا يمكن أن يكون أملس تماماً، فإن المياه التي تجري عليه عقب أمطار غزيرة لا بد أن تجد طريقها إلى منخفضات طفيفة متتبعة المجرى الأكثر انحداراً إلى المستويات الواطئة، وتكون مجاريها الصغيرة على هيئة أخاديد واضحة، ومن هذه تتكون في الحال مجموعة النهر الناشئة.

والنهر – كما سبق أن شاهدنا – يحمل مواد عالقة في مياهه أو يدحرجها فوق قاعه، وفي كلتا الحالتين لا يزيل النهر المواد الناتجة من التجوية فحسب، بل يستعملها كأدوات للفحر. وإن التصادم بين أجزاء الصخور المتحركة بسرعات مختلفة يقلل من حجم هذه الأجزاء وبمتسعها، والاحتكاك بين حبات الرمال والجلاميد المتحركة وبين قاع النهر يعمل على نحت الوادي. والحفر المستديرة الكبيرة التي يمكن مشاهدتها في قاع نهر صخري، إحدى مظاهر النحت بالاحتكاك.

ويتوقف حمل النهر – وهو كمية مواد الامتساح التي يحملها النهر في أي وقت من الأوقات – على سرعة الماء وكميته وتختلف باستمرار على طول مجراه؛ فإذا كانت الانحدارات شديدة حدث فحر فعال، لأن السرعة التدويمية في هذه الحال تكون أكثر من السرعة اللازمة لنقل الحمل. وفي الأماكن التي يقل فيها انحدار النهر تتضاءل السرعة، بحيث لا يقوى النهر على نقل كل حمله، وعندئذ يحدث ترسيب مؤقت. ومن ناحية أخرى، عندما يتصل أحد الروافد بالمجرى الرئيسي، فإن ازدياد السرعة الناشيء من ازدياد كمية المياه يكون عادة كافياً وزيادة لنقل الحمل المجتمع، وبذلك يزداد الفحر.



(شكل رقم ١١)

رسم كروكي يوضح القطاعات الطولية في مرحلتي بدء النشأة واكتمال التكوين في تعرية وادي النهر. (المقياس الرأسي مكبر جداً).

وفي الآونة الحاضرة، يمكننا اعتبار أن منبع النهر ومصبه – عندما يدخل البحر – نقطتان ثابتتان. وفي البدء يكون انحدار المحرى غير

منتظم، إلا أنه عند كل النقط التي تكون فيها سرعة المياه وكميتها أكثر كفاية من أن تنقل الحمل، فإن الفحر يكون فعالاً إلى أن يصبح انحدار النهر منبسطاً، بحيث يكون حمل النهر وسرعة مياهه وكميتها في حالة اتزان في كل مكان، وعندها يتوقف الفحر. وهذا المنحنى الذي يمثل القطاع الطولي لمحرى النهر، عبارة عن منحنى مقعر لوغاريتمي يعرف بالقطاع المنتظم، وفي هذه الحالة لا يفحر النهر قاعه أبداً.

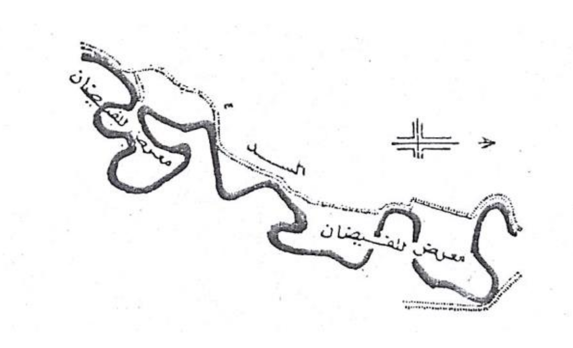
وفي الحقيقة، إن حمل النهر ينقل تجاه البحر في تدرج وباستمرار، وأينما كان قاع النهر مكشوفاً فإن الفحر يستمر. والأرض المرتفعة معرضة دائماً لعوامل التعرية، فيأخذ منبع النهر في الهبوط ببطء، وعلى هذا يستمر القطاع المنتظم للنهر في الهبوط في بطء متزايد، ليصل إلى أوطى منسوب للفحر (قاعدة الفحر) وهو منسوب سطح البحر.

وفي الوقت الذي تحدث فيه هذه التغيرات في القطاع الطولي للنهر، يكون قطاعه العرضي في تغير أيضاً. وفي البداية وعندما يكون فحر النهر فعالاً، فإن الفحر في القاع يكون أسرع من التعرية الهوائية في الجانبين، ولهذا يتقابل الجانبان على هيئة الرقم (٧). ولكن عندما يتضاءل الفحر في القاع، فإن الوادي يأخذ في الانفراج. ثم تعمل عوامل التعرية على الجانبين وتدفع بموادها إلى أسفل، فتغطي باستمرار قاع النهر. لهذا ولتحرك المياه من جانب إلى آخر، يأخذ النهر نحو الفحر الجانبي للجزء الأسفل منه. ولما كان للتيار المائي قوة دافعة إلى الخارج عند أي انحناء، فإن المنحنيات تكبر ويتسع الوادي. ويتغير شكل

القطاع العرضي للنهر فيصبح مفتوحاً منبسط للقاع، وتكون جوانبه محدبة نوعاً. ويأخذ القطاع العرضي للنهر هذا الشكل من القطاع في أول الأمر في الموقع الذي يدخل فيه النهر إلى البحر، ففي هذا المكان يكون النهر– من البداية – عند أوطى منسوب لقاعه، أي عند قاعدة الفحر، وليس هناك أي احتمال في فحر القاع. وقد تتكون – في مواقع مختلفة على طول مجرى النهر – أمكنة يكون فيها النهر عند أوطى منسوب لقاعه بصفة مؤقتة، وذلك بسبب وجود هدارات أو حواجز من الصخر الذي يقاوم فعل الماء أو بسبب آخر، ولكن العادة أن يمتد القطاع الطولي ذو المنحنى المقعر وكذا القطاع العرضي للوادي عند اكتمال تكوينه من المصب إلى المنبع تدريجياً. وحتى في هذه الحالة، فإن قطاع الوادي يتغير من قطاع متسع مفتوح بالقرب من المصب إلى قطاع ضيق منحدر الجانبين في الأجزاء العليا من النهر.

وبينما يتسع الوادي وتتكون السهول المنبسطة، تبدأ المنعطفات النهرية المميزة في الظهور. ويقصد بالمنعطفات، التعاريج الشديدة في مجرى النهر – بين رواسبه ذاتها – والذي لم تعد تحده جوانب صخرية. وإن أي عدم انتظام في المجرى – ربما يكون سببه في أول الأمر انهيار أحد جانبيه – قد يتزايد بسبب زيادة سرعة الماء في الجانب الخارجي للتقوس، وتتناقص سرعة الماء في الجانب الداخلي للثنية، ويحدث ترسيب الرمل والحصى، وبهذا يتحول مجرى النهر إلى التواءة أكثر اتساعاً وظهوراً (شكل ١٢). ويأخذ الجزء من الأرض الواقع بين منعطفين في التناقص تدريجياً إلى أن يقطعه النهر– عادة في وقت الفيضان–

ويأخذ الطريق المستقيم، تاركاً منعطفاً منفصلاً في هيئة بحيرة هلالية الشكل.



(شكل ١٢)

المنعطفات في نهر السيفيرن عند حافة سهل شروبشير الكبير شمال غربي جبال بريدن. "من خرائط مصلحة المساحة مقياس ٦ بوصة للميل الواحد، مصغراً لمقياس ٢ بوصة للميل الواحد بإذن من مراقب مكتب النشر".

يحدث النمو في مجموعة النهر – منذ المراحل الأولى – بالتسابق بين الروافد. ويتوقف القطاع المنتظم الفعال لكل رافد على المنسوب الذي يتصل عنده برافد آخر ليكونا مجرى رئيسياً، وعلى هذا تتوقف القطاعات المنتظمة المتتالية لقيعان الوديان الصغيرة على مناسيب الوديان الرئيسية، كلما مرت هذه الروافد بنقط تقابل متوالية مع الوادي الرئيسي.

إن الوادي المتسع للنهر في نهاية تكوينه يصبح في الواقع عندما يقترب من قاعدة فحره، منطقة ترسيب بدلاً من منطقة تعرية؛ ففي أوقات الفيضان تغمر المياه العكرة سهل الفيضان وتكون صفحة كبيرة من المياه

الراكدة. ولا يبقى الطمي والطين عالقين في الماء، ولكنهما يرسبان فوق السهل، أما المواد الخشنة فترسب بالقرب من شاطئ النهر، بحيث لا تبعد كثيراً عن التيار الرئيسي، وترسب المواد الدقيقة بعيداً عن مجرى النهر. وبهذه الطريقة تتكون سهول الطمي ويكون لها جسور طبيعية ترتفع قليلاً عن مستوى الأرض وتحد النهر من الجانبين.

وبينما تمر مجموعة النهر في مرحلتي اكتمال التكوين ونهايته، فإن منطقة الوادي وروافده تتحول إلى أرض منخفضة جداً تعبرها منعطفات تجري فيها المياه ببطء. وهذه هي مرحلة تسوية السطح وآخر مراحل الفحر النهري. وفي مرحلة اكتمال التكوين، يبقى قليل من التلال الفردية المنفصلة – من بين مجموعة تامة النمو من خطوط تقسيم المياه التي كانت تفصل كل مجرى عن الآخر – وحتى هذه التلال الفردية تسوى في النهاية إما بفعل الهواء أو بفعل التعرية الكيميائية.

لقد تكلمنا عن قاعدة النحت أو منسوب سطح البحر كما لو كان هذا هو المنسوب النهائي، ولكن هذا كله يتغير إذا ما اعترى جزءًا من الأرض ارتفاع أو انخفاض، إذ من المحتم أن تتغير مجموعة النهر تبعاً لذلك؛ ففي حالة غمر الأرض ينتقل منسوب سطح البحر إلى داخلها وتتحول دالات النهر ومصباته إلى أخوار متسعة، ويلي ذلك تعديل في الترتيب، وتصبح الأجزاء المنخفضة من الوادي مناطق ترسيب؛ ورفع الأرض معناه انخفاض منسوب سطح البحر فيستعيد النهر نتيجة لذلك

نشاطه. ويبدأ نحت القاع عند مصب النهر ويأخذ طريقه نحو المنبع ليكون تدرجاً جديداً بالنسبة إلى منسوب سطح البحر الجديد.

وفي أثناء هذا التعديل، تنتقل "نقطة البدء" التي تعين الحد الذي يتقابل عنده التدرج القديم مع التدرج الجديد إلى أعلى، وتتقدم بسرعة فائقة حيثما توجد معظم المياه، وهي تؤثر على كل الروافد على التوالي عندما تمر بنقط اتصالها بالمجرى الرئيسي إلى أن يتم التعديل لكل المجموعة النهرية، وإذا سار الحفر في قاع النهر جنباً إلى جنب مع ارتفاع الأرض في منطقة سبق أن تكون لها منعطفات، فإن استعادة نشاط النهر قد ينتج عنها قطع المنعطفات السابقة، كما هو الحال في "وير" بالقرب من "درمهم" وفي المنطقة الواطئة من نهر "واي" عند "تشبستو". وتدل دائماً هذه المنعطفات المقطوعة على رفع الأرض.

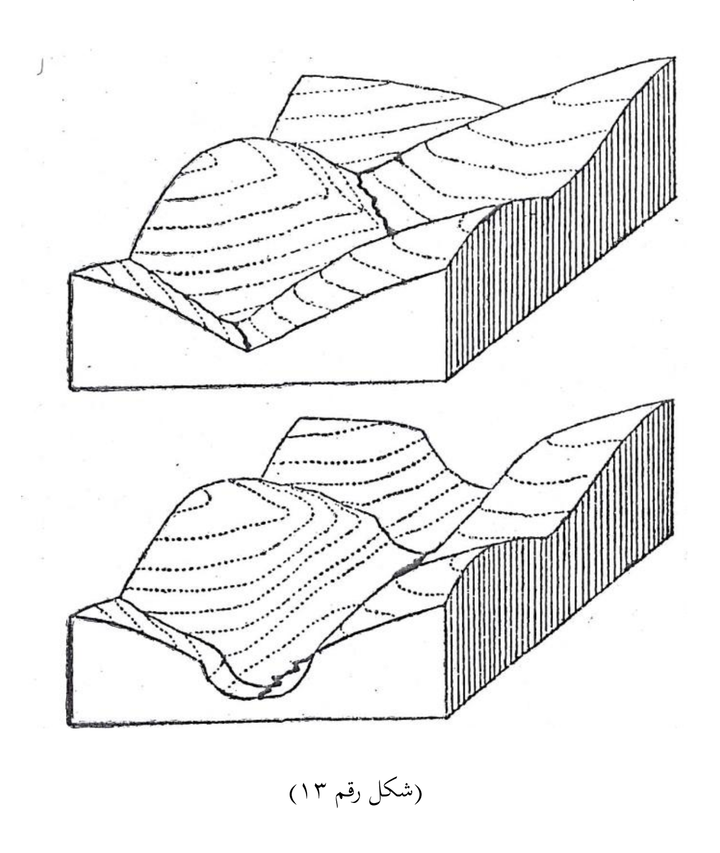
التعديلات الناشئة من فعل الجليد: كان الجزء الأكبر من أوروبا الشمالية الغربية – في عصر الجليد العظيم – تحتله الثلاجات وتغطيه صفحات الجليد. وقد غيرت الثلاجات وصفحات الجليد – في بعض الأماكن – طبيعة الأرض التي نتجت بفعل الأنهار تعديلاً كبيراً. وفي أثناء الطقس الأكثر اعتدالاً الذي أعقب عصر الجليد، أخذت عوامل النحت بفعل النهر في إعادة إنماء أشكال النحت المائي على سطح الأرض، ولكن بقى الكثير من الأدلة على فعل الثلاجات.

إن حركة الجليد في الثلاجات بطيئة جداً كما اكتشف ذلك مارك توين عندما حاول النزول من "ثلاجة جورنو"، على أن شدة النحت لجليد الثلاجات تتوقف على عوامل أخرى غير سرعة حركتها. فقطع الصخور التي تتجمد في قاع الجليد تسحب فوق سطح الأرض وكأنها "مبرد" ضخم. وأظهر تأثيرات عوامل النحت – بفعل الجليد في بريطانيا – هي التي أحدثتها ثلاجات الوديان في المناطق الجبلية، بينما يظهر فعل صفحات الجليد بصفة خاصة فيما تركته من رواسب.

وينتج عن فعل الجليد في المناطق الجبلية تغيير في أشكال سطح الأرض التي تسببت مما أحدثته الأنهار في الأزمنة السابقة. وترجع هذه التعديلات إلى أن فعل الجليد يختلف – في نواح عديدة – عن فعل المياه الجارية. ولا تتحرك الثلاجة كما يتحرك السائل الشديد اللزوجة مثل "الزفت" أو "شمع الأختام" في الجو الحار، ولكنها تتحرك نتيجة لنمو وإعادة تبلور بلورات الجليد عن طريق التنظيم بين سطوح الانزلاق في المادة الصلبة للبلورات وعن طريق نشوء سطوح الدفع بين طبقات الجليد النقية منها والقذرة: وبما أن الجليد – في الواقع – مادة صلبة، فإن إحدى الظواهر المميزة للوادي المتأثر بفعل الثلاجات، هي الاستقامة العامة لجوانبه وقطع الرءوس البارزة التي يتميز بها النحت بالأنهار.

ويصاحب ذلك في حالة النحت بالجليد جرف الصخور من قاع الوادي وتحويل قطاعه العرضي من شكل الحرف "V" إلى شكل الحرف

"U". كما لا تظل وديان الروافد الصغيرة متدرجة مع قاع الوادي الرئيسي، ولكنها تترك معلقة على هيئة "وديان معلقة"، وهي إحدى الصفات المميزة للمناطق الجبلية التي تأثرت بفعل الثلاجات كما يتضح من (الشكل رقم ١٣).



(شكل رقم ١٣)

رسم مجسم يوضح التعديلات التي تحدثها الثلاجات في أشكال سطح الأرض.

تستبدل القطاعات العرضية التي على شكل "V" والرءوس المتشابكة التي تتميز بها عوامل النحت بالنهر، بالوديان المستقيمة

المجرى ذات القطاعات العرضية على شكل "U" والرؤوس المبتورة والروافد ذات "الوديان المعلقة".

فالوادي المستقيم المجرى ذو القاطع العرضي على شكل "U" مع الرءوس المبتورة والوديان الجانبية المعلقة، كل ذلك تتميز به عوامل النحت بالثلاجات. وقد تحفر الوديان – عند منابعها – حفراً عميقاً بسبب "النحت الشديد" عند النقطة التي يبدأ منها جليد الثلاجة في التحرك بعيداً عن الانحدار الذي يتراكم فوقه الثلج الأصلي، تاركاً وراءه جرفاً شديد الانحدار على شكل نصف دائرة، وهو واد مدرج مستدير "cirque" "المسمى بكويم في ويلز وبكوري في أسكتلندة" والظواهر المميزة الأخرى لعوامل النحت بالثلاجات، هي الصخور المعروفة "بالخراف الراقدة"، وهي كتل الصخور البارزة من قاع الوادي أو جانبيه والتي تم خدشها في خطوط، والتي يكون قد صقلها الجليد فيما عدا الجانب الذي تحرك الجليد بعيداً عنه، كما أن عملية النحت الشديد عند هذا الجانب تترك هناك واجهة غير منتظمة شديدة الانحدار.

وعلى عكس النهر، فإن الثلاجة قد تحفر حوضاً صخرياً عميقاً ينخفض عن انحدارها العادي، فهي – في الحقيقة – العامل الطبيعي الوحيد الذي يقوم بمثل هذا العمل. وكان المعتقد فيما مضى، أن هذه ظاهرة ضرورية لعوامل النحت بالثلاجات، ولكن الكثير من بحيرات بريطانيا – الواحدة بعد الأخرى – التي كان من المعتقد أنها أحواض صخرية، قد تبين أن مياهها حجزت بواسطة تلال مكونة من مواد ركامية

رسبتها الثلاجات. أما بحيرات "جلاسلين" و"ليدار" تحت قمة "سنودن" في ويلز و"لوح كرويسك" في سكاي (اسكتلندة) فإنها بحيرات تحتل أحواضاً صخرية حقيقية. ويمكن للإنسان أن يمشي – عبر الجزء الخلفي لهذه البحيرات – فوق صخر صلب. كما أن الكثير من البحيرات الصغيرة في منطقة البحيرات بإنجلترا وشمالي ويلز أحواض صخرية أيضاً.

والرواسب المميزة التي تتركها ثلاجات الوديان تحتفظ بشكل الركام الجانبي أو الركام النهائي، وهي تلال مكونة من رمل وحصى غير مفروزة مع بعض الجلاميد التي خدشها الجليد متراكمة على الجوانب وعند نهاية الثلاجة عند ذوبان الجليد. ولم تتدحرج أو تسحب مواد هذه التلال كما هو الحال في النهر بل تماسكت بالجليد؛ ولهذا فإن أجزاءها تكون عادة حادة الزوايا. وقد يكون لبعض الركام تأثير كبير على المناظر، إذ يسد بعضها الجزء الأسفل من الوادي سداً تاماً ويكون بمثابة سد طبيعي يحجز وراءه كميات كبيرة من المياه. ولكن طبقات الجليد الشاسعة التي تنتشر فوق المناطق المنخفضة ثم تذوب فوقها، هي التي تترك خلفها الرواسب الجليدية المهمة وهو طين الجلاميد. وهذا الراسب غير مفروز بالمرة، ويتكون في العادة من صلصال يابس يشمل جزءاً من التربة والصخر وجزءاً من صخر مسحوق غير متحلل – طحنه الجليد في أثناء تحركه – كما يشمل حصى وجلاميد من كافة الأحجام. وبعض هذه الجلاميد قد خدشت وعليها خطوط، ولكونها منقولة من مسافات بعيدة يغلب أن تكون من صخور تختلف عن صخور المنطقة التي توجد بها

الآن. ومثل هذا الراسب لا يمكن أن يترسب بواسطة الماء، لأن تيار الماء الذي يتمكن من تحريك هذه الجلاميد لا يمكن أن يسمح بترسيب الطين. ويكون طين الجلاميد غطاء من الرواسب يختلف سمكها من بضعة أقدام إلى بضع مئات من الأقدام، ويخفي تحته جيولوجية معظم مقاطعة أنجليا الشرقية والأراضي المنخفضة في أسكتلندة ومعظم مناطق إنجلترا الشمالية والوسطى.

ويوجد – على طول الحد الجنوبي لطبقات الجليد – تلال على هيئة مروحة مكونة من رواسب الحصى الجليدي النهري التي تم ترسيبها من مياه طبقات الجليد الذائبة عند جريانها بعيداً عن أطرافها.

لقد تحدثنا باختصار عن التغيرات – الأكثر أهمية – التي تعرض لها سطح الأرض بفعل الجليد، ولكن قبل أن نترك هذا الموضوع يجب أن نشير إلى تأثير آخر، وهو تحويل مجاري المياه. فقد يحدث في بعض الأحيان أن تسد رواسب الجليد وادياً من الوديان، وفي هذه الحالة يضطر النهر أن يشق لنفسه طريقاً آخر. وقد يحدث أن يسد الجليد نفسه الوادي فينشأ عن ذلك تحول مؤقت أو دائم في مجرى المياه وخاصة في الأراضي المنخفضة التي يتحسن فيها الطقس في المراحل الأخيرة من عصر الجليد، وتعود الأنهار السطحية للظهور من جديد. ويكفي أن نذكر مثالاً واحداً لشرح هذه النقطة الأخيرة.

ينبع نهر السيفرن عند "بلينليمون" في أواسط ويلز، ويجري إلى الشمال الشرقي حتى "ولشبول" كما لو كان ليصب في البحر الإرلندي عن طريق وادي نهر "الدي". وتنعقد المسألة، لأن الذي حدث – بالاختصار – هو أن جليد البحر الإرلندي في عصر الجليد قد اندفع في الناحية الجنوبية إلى وادي "الدي" وحجز مياه نهر السيفرن لتكون بحيرة عظيمة فوق سهل "شروبشير" بأجمعه. ولقد وجدت مياه البحيرة مخرجاً لها فوق جرف "ونلوك" عند "أيرن بريدج".

وبقي الجليد مدة كافية مكنت مياه البحيرة من قطع الجرف عند "أيرن بريدج" إلى منسوب يسمح بتحول مجرى المياه بصفة دائمة. ويكون مضيق "أيرن بريدج" الآن قاعدة النحت المؤقتة التي تدرج عليه الجزء الأعلى من نهر السيفرن، أما الجزء الأوسط من هذا النهر – عبر شروبشير – فله كل صفات النهر التام التكوين، ويستمر النهر – وهو في بدء نشوئه – بعد خروجه من الخانق نشطاً – لعدة أميال – على أنه – في أجزائه السفلى، بالقرب من "توكزبري" و"جلوستر"، يأخذ في التعرج ثانية.

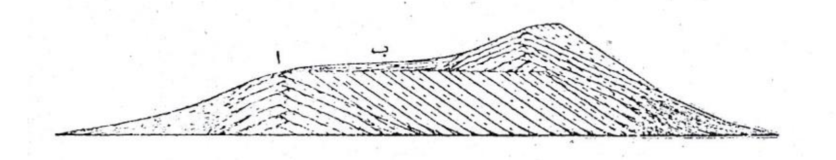
النحت والترسيب بفعل الرياح: ليست الرياح في المناطق الرطبة مثل بريطانيا من العوامل المهمة سواء في النحت أو في النقل، على أن هناك من الدلائل ما يشير إلى أنه في عصور عديدة مضت. كانت الرياح – حتى في بريطانيا – تلعب دوراً يشابه الدور الذي تقوم به الآن في المناطق القاحلة مثل الصحاري أو صحراء ليبيا. وفعل النحت للرياح

كفعل زوبعة رملية ينتج عنها نحت متفاوت، إذ تبرى بالاحتكاك الأجزاء الرخوة من الصخور في تفصيل عجيب. وهناك صفة مميزة أخرى، ألا وهي الصقل الجيد الذي تضفيه الرياح على سطوح الصخور.

والرياح كعامل من عوامل النقل – مثلها في ذلك مثل الجليد – يمكنها أن تنقل الرمل والغبار إلى أعلى، كما أنها – مثل الماء – يمكنها أن تجمع رواسب مفروزة فرزاً جيداً من حيث حجم حبيباتها. وأحسن هذه الرواسب فرزاً هي الرمال التي تسفيها الرياح. ويلاحظ في هذه المناسبة أنه، بينما تنخفض الكثافة الفعالة لحبة من الرمال في الماء من ٢,٦ إلى ١,٦ بسبب التعويم، فإن حبة الرمل في الهواء تحتفظ بكامل كثافتها عندما ينتاب السرعة أقل تغيير؛ ذلك لأنه ليس للهواء لزوجة تذكر. هذه العوامل هي السبب الأساسي في استدارة حبات الرمال نتيجة لتضاربها خلال نقلها لمسافات طويلة، وهي الاستدارة التي تتميز بها رمال الصحراء التي تسفوها الرياح.

والكثبان الرملية – أحد أنواع رواسب الرياح – معروفة لدى مرتادي الشواطئ، ولا تنمو النباتات بسبب الرشاش المالح. وطبقات الكثبان من نوع طبقات التيار أو الطبقات الكاذبة "انظر شكل رقم ٥". وربما كان تركيب كثيب رملي كبير في الصحراء كما هو مبين في "الشكل رقم ١٤".

وفي المناطق الصحراوية الحقيقية، تكون الكثبان الرملية في حالة توازن؛ ولهذا فإنها مستقرة نوعاً ما، وتحدد مواقعها بواسطة بعض التضاريس المحلية مما يتحكم في التيارات الهوائية. ولكن معظم الكثبان الرملية تنتقل في اتجاه الرياح، وفي معظم المناطق الساحلية بغير رمل الشاطئ على المناطق الداخلية. والطريقة الوحيدة لتثبيت الكثبان هي تغطيتها بنباتات نامية، وأكثرها شيوعاً هو حشيش المستنقعات "هيش" وهو من القوة بحيث يحتمل الزوابع والجفاف.



(شكل رقم ١٤)

قطاع عرضي كروكي يبين التركيب المحتمل لكثيب من نوع ظهر الحوت في بحر الرمال المصري. (عن باجنولد، فيزياء الرمل المسفي وكثبان الرمل الصحراوية).

وتسفي الرياح في المناطق الصحراوية الغبار عالياً عن سطح الأرض وتلقي به بعيداً فوق السهول الواسعة المجاورة غير المزروعة، وفيها يتشبك بين الحشائش وبين رواسب كبيرة من المادة المعروفة بأس ليرس. وحبيبات هذه المادة دقيقة جداً ومتساوية في الحجم. وتتكون – غالباً – من المرو "الكوارتز" والميكا مع بعض الفلسبار غير المتحلل، وهي الحبيبات المسحوقة الناتجة من عوامل التجوية الميكانيكية لا الكيميائية. وهذه المادة – في الواقع – عبارة عن مسحوق الصخور

الناتج من فعل النحت بالرياح، يتراكم على ممر الدهور على هيئة راسب عديم الطبقات يبلغ سمكه في العادة حوالي مائة قدم أو يزيد، وينشأ في هذا الراسب فواصل رأسية نتيجة لتعاقب البلل والجفاف. وتغطي رواسب اللويس هذه مساحة شاسعة في شمال الصين، وينتج عن نزول المطر المتوالي عليها نقل أجزاء منها إلى مياه النهر الأصفر (هوانج هو) مضفياً عليه لونه الأصفر. ومصدر هذه المادة هو صحراء جوبي في منغوليا. وتوجد مادة اللويس – قريباً من بريطانيا – عبر أواسط أوروبا وروسيا، مختلطة مع مواد عضوية ومكونة الراسب المشهور المعروف "بالأرض السوداء" في أوكرانيا.

وليس اللويس الأوروبي غباراً من الصحاري الحارة، ولكنه نتج من فعل الثلاجات، وأعادت الرياح توزيعه – قبل رجوع النباتات التي كانت قد ماتت أثناء عصر الجليد، لتغطي الأراضي البور المتخلفة عن فعل الجليد. وتربة أرض البراري في أمريكا الشمالية تشبه اللويس.

النحت بفعل البحر وشكل الشاطئ: يتسبب النحت البحري الفعال عن تلاطم الأمواج بالشاطئ، وتكون هذه الأمواج مسلحة بالحصباء والحصى مما تلتقطه من الشواطئ، وينتج أيضاً إلى حد ما تفتت الصخور المكونة للجروف المحيطة بالبحر من ضغط الهواء في الفواصل المفتوحة وفي سطوح الطبقات، عندما ترتطم بها الأمواج العالية وقت المد.

ومن العسير تحليل شكل الساحل تحليلاً مجرداً، وذلك لوجود عوامل كثيرة تشترك في تشكيله، ولا يمكن معالجتها منفردة. ويمكننا القول – بادئ ذي بدء – إنه إذا كان النحت البحري أسرع من التعرية الجوية المحلية، نشأ عن ذلك الجروف المحيطة بالبحر. وينحت البحر عند أسفل هذه الجروف إلى ارتفاع يحدده المد والجزر كما تحدده قوة الأمواج، فتصبح أجزاء الجرف العالية بدون أساس فتسقط. وإن سقوط الجرف لا يبقي على شدة انحدار أوجهها فحسب، بل إنه يضيف ذخيرة جديدة تستعملها الأمواج في المزيد من النحت. وعلى ذلك فإن وجود الجروف يعتبر دليلاً على نشاط النحت البحري، وليس دليلاً –كما يظن – على صلابة صخور المنطقة الشاطئية. فإن العكس هو الحقيقة. والعادة أن الجروف التي لا يمكن تسلقها لشدة انحدارها تتكون – في الغالب – من صخور رخوة مثل صخور تكوين اللويس وطين الجلاميد على امتداد شاطئ مقاطعة "يوكشير" أو من صخر الطباشير – وهو رخو نوعاً ما – في مقاطعتي "كنت" و"سوسكس" بدلاً من الصخور الجرانيتية الصلبة أو الصخور المتحولة التي تكون شواطيء مسننة شديدة الانحدار، كتلك التي في جنوب "كورنول".

وعندما تتعاقب الصخور المختلفة الصلابة، يكون النحت متفاوتاً، فتنحت الصخور الرخوة وتتراجع لتكون مداخل وخلجاناً، بينما تبرز الصخور الأكثر صلابة مكونة الرءوس والألسنة. وبهذه الطريقة يظهر أثر الصلابة النوعية على شكل الشاطئ. ويتأثر هذا الشكل أيضاً في تفاصيله بواسطة سطوح الفواصل، لأن النحت البحري يعمل على إيجاد وتوسعة

الشروخ. وسطوح الطبقات مهمة أيضاً لأنها عبارة عن خطوط ضعف أكثر استعداداً للتأثر بالأمواج، ولأنها تكون سطوحاً فاصلة بين طبقات الصخور المختلفة الصلابة. والتركيب الجيولوجي من العوامل التي تشترك في تكوين شكل الشاطئ، لأن ميل الطبقات يحدد مواضع سطوح الطبقات والفواصل.

كما يتحكم اتجاه الطبقات – بالنسبة إلى اتجاه الشاطئ – في عدد أنواع الصخور المختلفة التي تتعرض للأمواج. وعندما يتقاطع اتجاه الشاطئ مع اتجاه الطبقات، يكون هناك احتمال كبير في تعرض صخور مختلفة الصلابة لفعل الأمواج، وينشأ عن ذلك شاطئ متعرج غير مستقيم. أما في حالة ما يكون الشاطئ موازياً لاتجاه الطبقات، فإن نوعاً واحداً من الصخور سوف يتعرض لفعل الأمواج وذلك – على الأقل – في بدء مراحل النحت.

ربما كان أكثر الأمثلة وضوحاً، نحت هضبة عالية مكونة من طبقات سميكة من صخور إردوازية في وضع أفقي، وبها فواصل واضحة تكاد تكون رأسية. ويوضح تكوين الحجر الرملي الأحمر القديم في منطقتي "كاينيس" في "أوركنيز" النحت البحري تحت مثل هذه الظروف. ففي حالة تجانس الصخور وعدم وجود صلابة متفاوتة فيها، فإن فعل الأمواج يتركز – غالباً – في سطوح الفواصل تاركاً وراءه كتلاً قائمة تعرف "بقوائم البحر" أو "أعمدة البحر". وقد تتكون الكهوف والعقود الصخرية في المرحلة الوسطى من عملية النحت، إلا أنه بتقدم هذه العملية تتساقط

العقود وسقوف الكهوف. ويستمر البحر في الإغارة على الأرض فتتآكل أوجه الجروف وتتراجع هذه تاركة وراءها – ولبعض الوقت – قوائم أو أعمدة من الصخور قائمة في البحر. وبمرور الزمن تتآكل هذه الأعمدة من أسفل وتنهار.

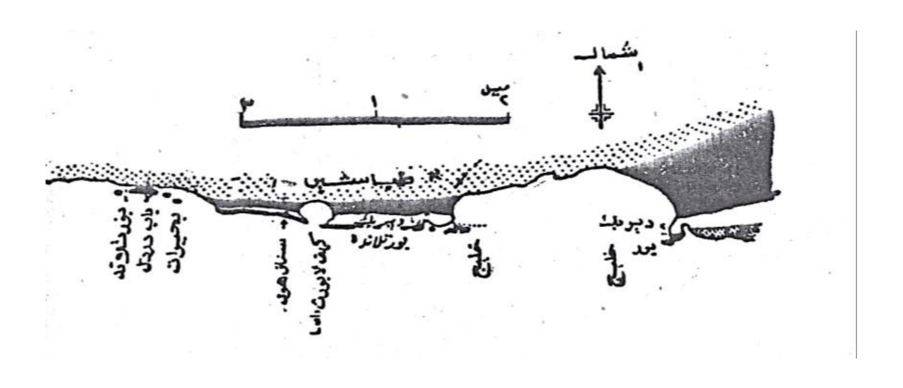
وتتكون الأعمدة الصخرية أيضاً عندما تكون سطوح الطبقات رأسية وليست أفقية؛ إذ يعمل البحر على سطوح الطبقات وكأنها سطوح الفواصل. وإن "المسلات" الموجودة بالقرب من جزيرة "وايت" لهي أعمدة من صخور الطباشير في طبقات رأسية، كما تشاهد مثل هذه الظواهر بالقرب من "سوانيج".

ونحت الشواطئ غربي "سوانيج" بجوار "للويرث كوف" له أهمية خاصة، إذ تتكون المنطقة الشاطئية هناك من مجموعة من الطبقات مختلفة الصلابة تتجه من الشرق إلى الغرب، وميلها شديد في ناحية الأرض. أما الشاطئ نفسه فيتجه أيضاً من الشرق إلى الغرب، ويتكون من حاجز من حجر بورتلاند الصلب، حجر جيري من تكوين "بيربك" الأسفل، ويقع خلف ذلك منطقة من صلصال "ويلد" الرخو، وخلف هذه يوجد طباشير شديد المقاومة نسبياً. وقطع البحر هذا الحاجز الطبيعي في مواضع متعددة، ويوضح هذا الحاجز مراحل متوالية من النحت البحري؛ فقد قطع البحر عند "ستيرهول" فتحة "على هيئة عقد" في حائط الصخر الأكثر صلابة، وساعدت عوامل التعرية الهوائية على تكوين فتحة مخروطية صغيرة – يبلغ قطرها حوالي ٢٠٠ ياردة – في

الصخور الرخوة الواقعة خلف الحاجز. وتظهر المرحلة التالية في عملية النحت عند "للويرث –كوف" وهناك أنهار العقد واتسع القطع في الصخور الصلبة، وجرفت صخور "الويلد" الرخوة لتكون خليجاً جميلاً بيضاوي الشكل، يحد من الخلف صخر الطباشير، ويتصل بالبحر بفتحة ضيقة يحدها حوائط – تكاد تكون رأسية – من الحجر الجيري الصلب. أما في خليجي "واربرو" و"ميوب"، فقد تقدمت عملية التوسع الجانبي إلى حد أبعد، وهو الحال كذلك إلى ناحية الغرب حيث تكونت قوائم ذات أشكال مختلفة تسمى "بديردل دور" (أي الباب) و"بل" (أي الثور) و"بليندكاو" (أي البقرة العمياء) وغيرها من بقايا صخر بورتلاند الصلب وحجر بيربك الجيري، التي لا تزال باقية كأعمدة من الصخر.

وكما هو الحال في كل أنواع النحت، فإن النحت البحري النشيط يجب أن يصحبه النقل وإزالة المواد المتخلفة، وهذه إن بقيت فإنها تتراكم وتحمي الشاطىء من فعل نحت جديد. وتزال المواد المتخلفة عادة بفعل المد والجذر والتيارات السفلى والتيارات الموازية للشاطىء. والمواد التي تحملها التيارات الموازية للشاطىء إلى مسافات غالباً ما تكون بعيدة، قد تترسب – لمدة من الزمن – في ألسة رملية، وذلك عادة عندما تتقابل هذه التيارات مع تيار نهر يصب في البحر. وعلى هذا فإن شكل الشاطىء لا يتوقف كلية على عوامل النحت، بل قد يبين شكله بعض الظواهر التي تنتج من الترسيب. ومن أحسن الأمثلة على تراكم الرواسب الشاطئية هذه، هو شاطىء "تشيزل" بالقرب من "وايموث". ويمتد هذا اللسان إلى مسافة تقرب من عشرة أميال في

اتجاه شمال غربي إلى جنوب شرقي، موصلاً بين أرض الشاطىء وجزيرة "بورتلاند" عند "أبوتسيري"، وحاجزاً خلفه بحيرة ضيقة متصلة بالبحر تعرف باسم "فليت".



(شكل رقم ١٥)

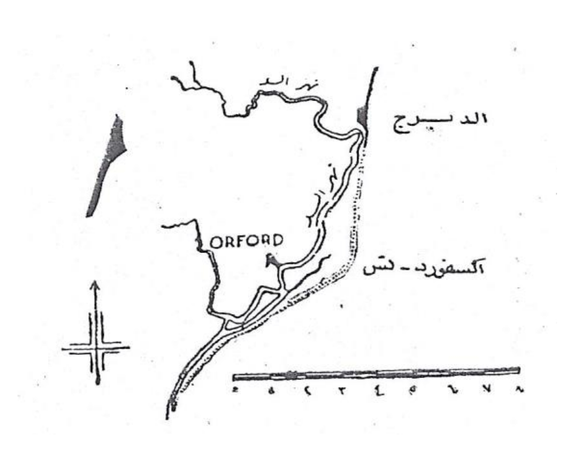
خريطة جيولوجية للمنطقة الشاطئية بالقرب من "للويرث كوف" بدورست بإنجلترا، تبين المراحل المختلفة للنحت (مقتبس ومبسط من خريطة المساحة الجيولوجية رقم ٣٤٢ بمقياس بوصة واحدة لكل ميل، من المجموعة الحديثة وبموافقة مدير المساحة الجيولوجية ومراقب مكتب النشر بالمملكة المتحدة.

وفي "سفوك" أيضاً كونت المواد المجروفة إلى الجنوب وفي اتجاه الشاطىء لساناً "حاجزاً" يتكون من الحصباء المجروفة بحذاء الشاطىء مخلوطة ببعض المواد التي قذفها نهر "الدي" إلى البحر، فتحول مصب هذا النهر من "الديبره" إلى جنوب "أرفورد" مسافة تبلغ حوالى ثمانية أميال.

وأخيراً، وفي هذا العرض المختصر يجب أن نشير إلى التأثيرات الواضحة نتيجة لرفع الأرض وخفضها. وأكثر هذه التأثيرات وضوحاً هي

انخفاض الأرض وخاصة إذا ما حدث هذا الانخفاض في المراحل الأولى من نحت الوديان بفعل الجليد، فعندئذ تغمر هذه الوديان وتكون طبوغرافيتها سبباً في عدم انتظام شكل الشاطىء. وفي وجود المداخل الطويلة التي تمتد إلى وديان أنهر ضيقة لها جوانب شديدة الانحدار. وشاطىء النرويج ذو الخلجان الطويلة الضيقة والشاطىء الغربي لأسكتلندة وشاطىء نيوزيلاند، كلها أمثلة لهذا النوع من عدم انتظام شكل الشاطىء. وهناك سببان يحملان على الاعتقاد بأن هذه المداخل لم تنشأ بسبب عوامل النحت البحري وحده؛ أولها أن هناك حداً لنحت الخليج بفعل الأمواج، وعند الوصول إلى هذا الحد، فإن تراجع الشاطىء نحو الأرض يحدده معدل نحت الرؤوس الأكثر مقاومة. ولكننا نجد أن الخلجان الضيقة تمتد في الداخل إلى أميال عديدة، (يبلغ طول توبني فيورد أكثر من مائة ميل) في حين أن اتساعها لا يزيد عن ٣ أو ٤ أميال على الأكثر، كما أن التلال المحيطة تنحدر – دون انقطاع – إلى مياه عميقة نسبياً.

وطبوغرافية البحر والأرض مستمرة، وهذه حالة تخالف حالة الرصيف البحري – القليل الغور – الذي يحدث عن النحت البحري. وثانيها أن خطوط المناسيب لهذه الخلجان الضيقة – بما أنها من أصل أرضي – لا تبين العلاقة البسيطة بالنسبة إلى التركيب الجيولوجي، هذه العلاقة التي هي صفة مميزة لكل الشواطىء الناتجة من فعل النحت البحري.



(شكل رقم ١٦)

خريطة لمنطقة "سفوك" الشاطئية بالقرب من "اورفورد – نس". تبين تكوين الحاجز المكون من الحصباء عند مصب نهر "الدي". (مقتبس من خريطة المساحة الجيولوجية رقم ١٦ الطبعة الثانية بموافقة مدير المساحة الجيولوجية ومراقب مكتب النشر).

ومن الناحية الأخرى، فإن رفع الأرض ينشأ عنه شواطىء بسيطة بقدر ما تكون الشواطىء الأخرى معقدة، إذ يظهر قاع البحر – المستوي تقريباً والذي تغطيه طبقة من الرواسب الحديثة – في هيئة أرض قليلة الانحدار، ويكون شاطئها مستقيماً تقريباً ومكوناً – في جميع أجزائه – من نفس نوع الصخر غير المتماسك نسبياً. ويندر أن يوجد أي عامل يعمل على تشكيل أو إدخال أي تغيير في مثل هذا الشاطىء، إلا أن يكون النحت قد سار أمداً بعيداً. ومن الأمثلة المميزة لمثل هذه الحالة، شواطىء غرب إفريقيا التي لا يوجد بها موانىء، وكذا شواطىء الجزء الجنوبي الشرقي من الولايات المتحدة الأمريكية.

والخلاصة، أننا نرى أن جميع أشكال الأرض ومناظرها تتحكم فيها خواص ومواضع الصخور الموجودة تحت التربة، والظاهر في أي نوع من المناطق هو السطوح المتآكلة بفعل عوامل التعرية؛ فالصخور الصلبة المتماسكة تقاوم هذه العوامل وتبقى على هيئة جبال. أما الصخور المتشققة أو المكونة من مواد طينية صفحية فإنها تنتفخ وتتفتح حيثما زال ارتكازها الجانبي. وإذا ما ضعف الأساس، فإن أكثر الصخور تماسكاً ينهار، كما تتفتت الجروف الشاهقة وتتحول إلى ركام.

وعلى امتداد شواطىء بريطانيا تتلاطم الأمواج بالشواطىء، فتقطع الجروف من أسفلها ثم تقوم عوامل التجوية بفعلها السريع على سطوح الصخور المعرضة لها حديثاً، وتقوم الجاذبية الأرضية بالجزء الباقي من العملية، ثم تعمل الأمواج على كتل الصخور الواقعة فتفتتها، ثم تأتي التيارات السفلى فتزيل الركام أما على الأرض، فحيثما وجدت الأمطار فإن مياهها تساعد على جرف المواد فوق المنحدرات. وتتجمع المياه من القنوات الصغيرة إلى النهيرات، ومن النهيرات إلى الأنهار، وهي في جريانها تستخدم فتات الصخور التي تحملها في نحت قاع كل منها، والمياه السطحية لا تجري إلى أعلى، ولكنها تتجمع لتفيض من فوق الحواجز التي تحجزها؛ فقانون تصريف المياه، وسير فتات الصخور الذي تحركه التيارات، وسحبها فوق قاع النهر، وترسيبها بين آونة وأخرى فوق هذا القاع ليغطيه، كل هذه تعمل على انتظام ميل وديان جميع الأنهار.

إن دقة وجمال هذا الاتزان المعقد لجد مدهش، وهو علم في حد ذاته، ولكن الذين يعيشون بين أحداثها يأخذون الأمور كأنها قضية مسلمة، ولا يلتمسون التفسيرات والتحليلات للمناظر الطبيعية إلا عندما تسير المياه الأرضية إلى الكهوف، أو تحجز المياه في بحيرات، أو عندما تنحت الصخور نحتاً غير عادي بفعل الثلاجات أو بفعل الهواء المحمل بالرمال، أو عندما نشاهد المواد تخرج من فوهات البراكين، عند ذلك فقط يفزع خيالهم ويثار اهتمامهم.

الفصل الرابع

التاريخ الجيولوجي لمصر [1]

منشأ الأرض – تعاقب الطبقات – الاستعانة بالحفريات في ترتيب ومقارنة الطبقات – مدى الزمن الجيولوجي – تقسيم الزمن الجيولوجي – الحقب الآركي – حقب الحياة القديمة – حقب الحياة الوسطى – حقب الحياة الحديثة – ملخص التاريخ الجيولوجي المصري.

منشأ الأرض:

إن أول فرد علمي لمعرفة منشأ الأرض هو النظرية السديمية، والسديم عبارة عن غاز ملتهب أو مجموعة من الشهب ترى في السماء على شكل دخان أو سحابة صغيرة. وتفترض هضه النظرية أن السديم يفتقد جزءًا من حرارته بالإشعاع فينكمش نحو المركز ويترك وراءه حلقات متتابعة من الغازات. وعندما تبرد هذه الحلقات تنفصل عن بعضها ثم تتركز كل حلقة منها حول نقطة ثم تصبح بعد ذلك كوكباً من الكواكب. وقد نشأت الأرض ونشأ القمر من إحدى هذه الحلقات، ثم حدث أن انفصلت الأرض عن هذه الحلقة عندما كانت لا تزال كتلة من

[1] هذا الفصل من وضع المترجم.

الغازات الحارة. واستمرت بعد ذلك في البرودة والانكماش إلى أن تحولت إلى مادة سائلة يحيط بها غلاف من الأبخرة الكثيفة تحولت فيما بعد إلى ماء. ثم حدث أن تجمدت القشرة الخارجية وبقي جوف الأرض على حالة انصهار وحرارة مرتفعة، واستمرت البرودة فانكمشت القشرة وتجمدت وتكونت منخفضات تجمعت فيها المياه، وسميت بالبحار والمحيطات، وبرزت أجزاء أخرى من القشرة الأرضية كونت القارات.

وبدأت الأمواج والتيارات في المحيطات، وجرت الأنهار على سطح الأرض، فتعرض لعوامل التعرية، وتسربت المواد إلى قاع البحار والمحيطات، فبدأ تكوين الصخور الراسبة وابتدأ التاريخ الجيولوجي.

تعاقب الطبقات: في الأحوال العادية، تكون كل طبقة في مجموعة من الصخور الرسوبية أقدم من الطبقة التي تعلوها وأحدث من الطبقة التي تقع تحتها. وهذا هو المبدأ الأساسي لعلم الطبقات ويعرف "بقانون تعاقب الطبقات". ولقد ترسب الطبقات الأفقية عند حافات البحيرات أو البحار فتتخطى كل طبقة ما تحتها من الطبقات ويعرف هذا التركيب باسم "التخطي". وقد تتجمد الطبقات بحيث تتقلب وتصبح الصخور العليا الحديثة تحت الصخور السفلى القديمة. وقد تعمل التعرية بعد ذلك فتظهر الطبقات عند سطح الأرض في تتابع معكوس.

وتعرف الطبقات المتتابعة بغير انقطاع في الترسيب باسم الطبقات المتوافقة، وقد ترتفع مجموعة من الطبقات من تحت سطح الماء إلى ما

فوق مستوى الأرض فتميل، أو تتعرض لضغط جانبي فتتجمد، وهي علاوة على ذلك تتآكل بفعل عوامل التعرية المختلفة. فإذا حدث أن انخفضت تحت سطح الماء ثانية، رسبت فوقها مجموعة أخرى من الطبقات الأفقية، وينتج من طبقات هاتين المجموعتين ما يسمى بالطبقات غير المتوافقة. على أن مجموعة الطبقات التي ارتفعت فوق سطح الماء، قد تحتفظ بأفقيتها في ارتفاعها وانخفاضها، فترسب فوقها المجموعة الثانية في وضع أفقي كذلك وفي هذه الحالة لا يظهر عدم التوافق في المجموعتين، ولو أن بينهما طبقات عديدة مفقودة بسبب التعرية في المدة التي مكثتها المجموعة الأولى فوق سطح الأرض من ناحية، وضياع طبقات كان من الممكن أن ترسب فوقها لو أنها بقيت تحت الماء في تلك المدة من ناحية أخرى. وتعرف طبقات هاتين المجموعتين بأنها غير متتابعة.

الاستعانة بالحفريات في ترتيب ومقارنة الطبقات:

ثبت من دراسة الحفريات في مختلف الصخور صحة نظرية النشوء والارتقاء، من حيث أن الكائنات الحية قد تسلسلت من مخلوقات بسيطة في العصور الأولى إلى أرقى الأنواع في العصور الحديثة. وبذا أمكن تقرير تعاقب جميع أنواع الكائنات، وبالتالي تقرير تتابع الطبقات التي تحتوى على حفرياتها. كما ثبت أن كل طبقة أو مجموعة من الطبقات تتميز بمجموعة خاصة من الحفريات، يمكن بواسطتها التعرف على مثيلات هذه الطبقات – ومقارنة بعضها ببعض – في مختلف أنحاء العالم.

ونجد في أحوال متعددة أنه لا بد من الاستعانة بالحفريات لتقرير تعاقب الطبقات، كأن تكون منقلبة أو متوافقة في الظاهر ولكنها غير متتابعة. كما يجب ألا ننسى أنه في كثير من الأحوال لا توجد الطبقات كلها مجتمعة في منطقة واحدة، وأن الطبقة أو التكوين الواحد لا يوجد في كل المناطق، وفي مثل هذه الأحوال نستعين بالحفريات في تقرير تعاقبها.

وقد تمكن علماء الجيولوجيا من وضع جدول كامل رتبت فيه جميع التكاوين الجيولوجية المكونة من طبقات الصخور الراسبة بحسب الحقب والعصور التي تكونت فيها. وقد استعانوا في ذلك بأسس ثلاثة هي: – تعاقب الطبقات، توافق الطبقات، مجموعة الحفريات المميزة لها.

مدى الزمن الجيولوجي: ذكرنا فيما تقدم أن التاريخ الجيولوجي يبتدىء بابتداء تكوين الصخور الراسبة في القشرة الأرضية وقد اعتقد الكثيرون من القدماء أن مولد الأرض قد اقترن بخلق الإنسان، وقدره بعضهم بحوالي ١٣٠٠٠ سنة وقدره آخرون بنحو ٤٠٠٠٠ سنة، وكل ذلك مجرد حدث وتخمين. على أن أول تقدير لعمر الأرض كان في سنة ١٨٩٩. وقد بني على أساس أن الأملاح المذابة في مياه البحار والمحيطات مصدرها مياه الأنهار. فإذا قدرت كمية الأملاح في البحار والمحيطات وكمية الأملاح التي تأتي بها مياه الأنهار سنوياً، أمكن الوصول إلى تقدير عمر الأرض بقسمة الرقم الأول على الثاني. ويبلغ التقدير في هذه الحالة ٨١ مليون سنة. وقد وجهت انتقادات عديدة إلى هذه النظرية، والمتفق عليه الآن أنها طريقة لا يعتد بها.

وهناك طريقة أخرى بنيت على إيجاد السمك الكلي لجميع التكاوين الرسوبية – على أن يأخذ أكبر سمك لكل تكوين – ثم تقدير متوسط السمك الذي يمكن ترسيبه سنوياً. وقد وجد أن أكبر سمك لجميع التكاوين هو ١١٠٢٠٠ مترا، كما وجد في وادي النيل في خلال الثلاثة آلاف سنة الماضية أن السنتيمتر الواحد يرسب في حوالي ١٥سنة. وقد وجد من هذا التقدير أن عمر الأرض يبلغ نحوا من ١٦٥مليون سنة. وهذا التقدير أيضاً لا يمكن الاعتماد عليه لاختلاف مقدار الترسيب باختلاف الظروف والأحوال.

وأخيراً وجد أن الطريقة العلمية الصحيحة لتقدير عمر الأرض هي في استعمال العناصر والمعادن الإشعاعية. فمثلاً عنصر اليورانيوم يتحلل بإشعاعه – بعد مرور سنين عديدة – إلى الهيليوم والرصاص. فإذا وجد العنصر المشع في صخور التكاوين المختلفة مع بعض مخلفاته الثابتة، أمكن تحديد عمر هذا التكوين. وبهذه الطريقة وجد أن عمر الأرض يزيد على ٢٠٠٠ مليون سنة، وأن عمر التكوين الكامبري هو ٥٠٠ مليون سنة، وقدرت كذلك أعمار التكاوين الأخرى فكانت كما تظهر في الجدول.

تقسيم الزمن الجيولوجي: اصطلح الجيولوجيون على تقسيم الزمن الجيولوجي إلى أربعة أقسام كبرى تعرف بالأحقاب وهي:–

١-**الحقب الآركي**- وهو حقب الحياة البدائية وفيه تكونت الصخور المكونة لأقدم طبقات القشرة الأرضية، وتكاد تخلو من آثار الحياة، اللهم إلا بعض الثقوب التي ربما كانت لبعض الديدان أو الطحالب الجيرية.

٢- **حقب الحياة القديمة**: وتحتوى الصخور التي تكونت فيه على حفريات نباتات وحيوانات من أجناس وأنواع معظمها بائد. وتتميز تمام التمييز عن أجناس وأنواع العصر الحاضر. ويقسم البعض هذا الحقب إلى قسمين: (أ) قسم أقدم. (ب) قسم أحدث.

٣- **حقب الحياة الوسطى**: وتحتوي صخوره على حفريات نباتات وحيوانات من أنواع تربطها بعض الروابط بالأنواع الحديثة.

٤- **حقب الحياة الحديثة**: وينقسم إلى قسمين:

(أ) **الثلاثي**: وتحتوي صخوره على حفريات نباتات وحيوانات من أنواع بعضها بائد والبعض الآخر لا يزال موجوداً إلى الآن.

(ب) **الرباعي**: وتحتوي صخوره على حفريات ونباتات وحيوانات من أنواع تشابه تماماً الأنواع الموجودة في الوقت الحاضر.

ويتضح من الجدول في نهاية الكتاب أن المدة الزمنية لكل من هذه الأحقاب مختلفة عن الأخرى. فهي ١٥٠٠ مليون سنة للحقب

الآركي، حوالي و ٣١٠ مليون سنة لحقب الحياة القديمة، و ١٢٠ مليون سنة لحقب الحياة الوسطى، و ٧٠ مليون سنة لحقب الحياة الحديثة.

ويفصل الحقب بعضها عن بعض –كما يفصل قسمي حقب الحياة القديمة– حدوث حركات أرضية عامة سببت ارتفاعاً في بعض المناطق وانخفاضاً في البعض الآخر، كما نتج عنها تغيير كبير في أنواع الأحياء. وقد وجد أنه من المفيد تقسيم هذه الأحقاب إلى أقسام أخرى. فقسم الحقب إلى عصور، والعصر إلى عهود، والعهد إلى دهور. ولكل قسم من هذه الأقسام مميزاته النباتية والحيوانية وقد تكون له مميزات معدنية أيضاً.

ويرجع الأصل في تسمية العصور، إما إلى صفة مميزة في تكوين طبقاتها مثل العصر الفحمي – وتوجد في تكوينه أهم طبقات الفحم – أو مثل العصر الطباشيري وأغلب طبقاته من الصخور الطباشيرية، وإما إلى الموقع الجغرافي الذي اكتشف فيه التكوين لأول مرة، أو الذي يوجد فيه التكوين على أحسنه مثل العصر البرمي نسبة إلى منطقة (بيرم) في روسيا، ومثل العصر الديفوني نسبة إلى مقاطعة (ديفون) بإنجلترا.

وفيما، يلي شرح موجز للحقب والعصور الجيولوجية وتدرج الحياة فيها، مع وصف صخور التكاوين مبتدئين بأقدمها.

الحقب الآركي: في هذا الحقب تكونت أقدم الصخور المعروفة في القشرة الأرضية، ويطلق عليها أحياناً اسم ما قبل الكامبري، لأن طبقاتها

تقع تحت طبقات التكوين الكامبري. وعلى ذلك فهي الأساس الذي ترتكز عليه كل الطبقات التالية. ويقدر المدى الزمني لهذا الحقب بمقدار ١٥٠٠ مليون سنة، أي معظم الزمن الجيولوجي. وتظهر صخور التكوين الآركي في مناطق كانت في الماضي أراض مرتفعة جداً. ويرجع السبب في ظهورها إلى فعل الحركات الأرضية وعوامل التعرية الشديدة.

ويحتوي التكوين على مجموعة مختلفة من الصخور، أهمها النيس والشيست وهي صخور متحولة متبلورة ومجعدة، ومنها الرخام وهو الحجر الجيري المتبلور. وقد تقترن بها صخور نارية جوفية مثل الجرانيت. كما يحتوي على صخور رسوبية كالحجر الرملي والكونجلومرات تصحبها طفوح بركانية. وكل ما في هذا التكوين من أثر الحياة، هو بعض ثقوب في الحجر الرملي ربما كانت لبعض الديدان ولبعض الطحالب البحرية التي تكون بعض الأحجار الجيرية.

ويحتوي التكوين على صخور ومعادن ذات قيمة اقتصادية؛ ففي إنجلترا يقتلع منه الجرانيت ويستعمل كحجر زخرفي. وتحتوي صخوره النارية على خامات الفضة والحديد في إسكنديناوة، وعلى خامات الذهب والفضة والأحجار الثمينة في جنوب أمريكا، وعلى خامات الحديد والذهب والنحاس والرصاص والنيكل في كندا والولايات المتحدة الأمريكية وخامات المواد الإشعاعية في الكونجو البلجيكية.

التكوين الآركي في مصر: تكون صخور هذا التكوين المناطق الجبلية في شبه جزيرة سيناء جنوبي خط عرض ٢٩°. وتكون سلاسل جبال البحر الأحمر، مبتدئة من خط عرض٤٠°–٢٨° وتمتد جنوباً إلى السودان. وتظهر بقرب جبل عوينات في الركن الجنوبي الغربي لمصر. وأقدم صخور هذا التكوين هو النيس، ويعلوه الشيست الميكائي أو الطلقي أو الهورنبلندي. وتظهر في مساحات واسعة في الصحراء الشرقية جنوبي خط عرض ٣٧°–٢٦°. أما في شبه جزيرة سيناء وبقية الصحراء الشرقية، فيظهر الشيست في مناطق صغيرة متفرقة. ويظن الدكتور هيوم أن كل صخور الشيست هذه متحولة من صخور نارية، وتعقب ذلك صخور سفلى من الشيست المتحول من صخور رسوبية، تتخللها صخور بركانية وأحجار جيرية ورخام، تعلوها صخور عليا من الشيست المتحول من صخور رسوبية كذلك، وتصحبها البريشيا الخضراء والكونجلو مرات، وتتدخل في كل هذا صخور نارية من الجرانيت والديوريت والسيانيت وغيرها.

ومن الصخور ذات القيمة الاقتصادية في هذا التكوين، أنواع الجرانيت وأشهرها جرانيت أسوان الأحمر والبريشيا الخضراء الموجودة بوادي الحمامات والحجر السماقي الإمبراطوري، وهو صخر بركاني بجبل الدخان، وأنواع الرخام في وادي المياه وكلها تستعمل كأحجار زخرفية.

أما معادن هذا التكوين فأهمها خامات التيتانيوم ومنها الذهب والفضة والنحاس والزنك والموليبدينيت والولفرام والحديد والكروميت والنيكل والرصاص والقصدير وغيرها. أما الأحجار الثمينة وشبه الثمينة،

فأهمها الزبرجد بجزيرة الزبرجد بالبحر الأحمر، والزمرد المصري بجبال السيكيت، والزبارة بالصحراء الشرقية، والجمشت في مناطق متفرقة منها.

حقب الحياة القديمة:

المدى الزمني وأنواع الحياة:- يقدر المدى الزمني لهذا الحقب بحوالي ٣١٠ مليون سنة. وابتدأت الحياة فيه بحيوانات في درجة عالية من التقدم. فظهرت المتخربات والراديولاريا، كما ظهرت الجرابتوليت وبلغت القمة وبادت قبل انتهاء العصر السيلوري. وبابتدائه ظهرت البراكيوبودا وبعض الرخويات، وكذلك الترايلوبيت التي بلغت قمتها وبادت بانتهائه. وكان أول ظهور للحشرات والاسماك والقوازب والزواحف في هذا العصر. وفي أثنائه ظهر على الأرض كثير من النباتات الخفية التوالد العارية البذور.

وتتميز الحياة في هذا الحقب، لا بانقراض بعض الأنواع والأجناس فحسب، بل كذلك بانقراض بعض الفصائل والقبائل. ومن أهم القبائل التي يختص بها هذا الحقب، الجرايتوليت والترايلوبيت. كما يلاحظ أن حيوانات هذا الحقب أمثال المرجان ونجوم وقنافذ وزنابق البحر والاسماك، تتبع فصائل أو قبائل لا تتعدى هذا الحقب، أو قد تتعداه ولكنها تكون قد اضمحلت. ولم تظهر الثدييات ولا الطيور في أثناء هذا الحقب.

الطبقات وأنواع الصخور: تنقسم طبقات هذا الحقب إلى قسمين، أحدهما قديم ويشمل ثلاثة تكاوين وهي - من الأقدم إلى الأحدث:

الكامبري، الأوردوفيسي، السيلوري. ويغلب أن تتكون طبقاتها من صخور طينية وطينية صفحية قد تتخللها صخور رملية أو جيرية. وثانيهما أحدث ويشمل ثلاثة تكاوين أيضاً وهي- من الأقدم إلى الأحدث: الديفوني، الفحمي، البرمي ويغلب أن تتكون طبقاتها من صخور رملية خشنة وصخور جيرية وقد تتخللها صخور طينية.

وقد نشطت البراكين في أثناء هذا الحقب، ولذلك تكثر الصخور البركانية بين طبقاته. وفيما يلي وصف موجز لكل من تكاوين هذا الحقب:-

التكوين الكامبري: تتكون طبقات هذا التكوين من الإردواز والكوارتزيت والصخور الرملية، يتخللها أو يقطعها بعض الصخور البركانية. وأهم حفرياته الترايلوبيت، ويوجد أيضاً بعض الأسفنجيات والبراكيوبودا والمحارات المزدوجة والحلزونية. وتظهر صخور هذا التكوين في معظم البلاد الأوروبية وفي الأمريكتين والهند والصين وأستراليا. وهي غير موجودة في مصر ولو أنها موجودة في فلسطين وهذا مما يدل على أن مصر لم تكن تغمرها المياه في هذا العصر.

التكوين الأوردوفيسي: تتكون طبقاته من الصخور الطينية الصفحية والإردواز، تتخللها صخور رملية وجيرية، كما تكثر بينها الصخور البركانية مثل الحمم والرماد البركاني. ويمتاز عن التكوين الكامبري بكثرة حفرياته وأهمها الجرابتوليت (الأوردوفيسي هو عصر الجرابتوليت) والترايلوليت والبراكيوبودا. وتوجد أيضاً حفريات المسترئسات والمحارات المزدوجة

والحلزونية وزنابق البحر والمرجان والأسفنج والراديولاريا. وتظهر صخوره في معظم أنحاء القارة الأوربية وفي أمريكا الشمالية وأستراليا ونيوزيلندا، ولم يعثر عليها بعد في مصر.

التكوين السيلوري: أهم الصخور المكونة لطبقاته هي الكونجلومرات والصخور الرملية والطينية والجيرية، ولا توجد بينها صخور بركانية. ومن حفرياته الاسماك وقد ظهرت لأول مرة، والعقارب المائية وهي نوع من القشريات الضخمة، والترايلوبيت والمسترئسات والمحارات المزدوجة والحلزونية وكثير من البراكيوبودا والمرجان والجرابتوليت التي انقرضت قبل انتهاء هذا العصر. ووجدت حفريات النباتات الأرضية لأول مرة بين طبقات هذا التكوين. وتظهر صخوره في كثير من بلاد أوروبا وفي أمريكا والهند وأستراليا، وهي غير معروفة في مصر، برغم وجودها في مراكش والصحراء الإفريقية الكبرى.

التكوين الديفوني: طبقات هذا التكوين نوعان، أحدهما ترسب في مياه المحيطات، وتتكون صخور طبقاته من الحجر الرملي والإردواز والحجر الجيري، وتتخللها الصخور البركانية، وحفرياتها البراكيوبودا والترايلوبيت والمرجان. أما النوع الآخر فقد ترسبت طبقاته في مياه البحيرات أو المصاب الواسعة للأنهار. وتتكون صخورها من حجر رملي أحمر أو بني اللون وكونجلومرات وطفل وحجر جيري غير نقي. وتتخللها أيضاً صخور بركانية، وحفرياتها قليلة، بينها بعض النباتات الأرضية كالسرخس، وبعض الاسماك ونوع من العقارب المائية. وتختلف اسماك

هذا العصر عن الاسماك الحالية؛ فقد كان هيكلها الداخلي غضروفياً وكان يحميها من الخارج درع من العظم. ولكثرة أنواع الاسماك سمي بعصر الاسماك. وتوجد طبقات النوع الأول في مقاطعة "ديفون" جنوبي إنجلترا وفي معظم أنحاء أوروبا وفي الولايات المتحدة. أما النوع الثاني فتوجد طبقاته في شمالي إنجلترا وشمالي روسيا وفي بلاد النرويج. ولا توجد طبقات هذا التكوين – من أي من النوعين – في مصر.

التكوين الفحمي: سمي التكوين بهذا الاسم لاحتوائه على معظم طبقات الفحم في العالم. وقد يوجد الفحم في تكاوين أخرى كالطباشيري والأيوسيني في أمريكا، وقد لا يوجد الفحم في التكوين الفحمي نفسه في بعض المناطق لعدم ملائمة الأحوال لتكوينه فيها. وأهم صخور هذا التكوين، هي الأحجار الجيرية والرملية والطينية الصفحية والفحم الحجري والأحجار الحديدية. وقد تكونت طبقاته المختلفة في أحوال وظروف متباينة، فرسبت في بحار مفتوحة عميقة وغير عميقة أو على امتداد شواطئ البحار أو في المصبات الواسعة للأنهار أو في البحيرات أو في المستنقعات.

وتختلف الطبقات في هذا التكوين من أسفله إلى أعلاه، ويغلب أن تتكون الطبقات السفلى من الصخور الجيرية التي تحتوي على حفريات الحيوانات البحرية ويكثر بينها المرجان وزنابق البحر والبراكيوبودا والمسترئسات، كما توجد عقارب البحر والترايلوبيت وبعض الأسفنجيات وأسنان بعض الاسماك وعظامها، كما توجد بقايا القوازب لأول مرة. أما

الطبقات العليا فيغلب أن تتكون من الصخور الرملية والطينية تتخللها طبقات الفحم، وتحتوي على حفريات بعض الحيوانات البحرية الموجودة في الطبقات السفلى، وقد تحتوي على حفريات بعض حيوانات المياه العذبة وبعض الحيوانات الأرضية كالعقارب وغيرها من الحشرات. على أن بقايا النباتات هي أهم وأكثر ما يوجد بها، وأغلبها من النباتات الخفية التوالد مثل لبيدودندرون وسجلاريا والسرخسيات وذنب الحصان، وقليل منها من النباتات ظاهرة التوالد عارية البذور مثل الصنوبريات والمخروطات.

وتظهر صخور التكوين الفحمي في كثير من البلاد الأوروبية وفي مصر وفي الصحراء الإفريقية الكبرى وفي الصين والولايات المتحدة وأستراليا، وتوجد أهم مناجم الفحم الحجري في إنجلترا وفرنسا وبلجيكا والاتحاد السوفييتي والصين والولايات المتحدة الأمريكية وغيرها.

التكوين الفحمي في مصر: أقدم تكاوين حقب الحياة القديمة ولا يوجد في مصر منها سواه. وتوجد صخوره في ثلاث مناطق هي:

١- منطقة غربي شبه جزيرة سيناء، وتتكون صخوره من الأحجار الرملية والجيرية، وبه من الحفريات الحيوانية المرجان البراكيوبودا والحفريات النباتية لبيدود ندرون، وفي طبقاته خامات المنجنيز والحديد.

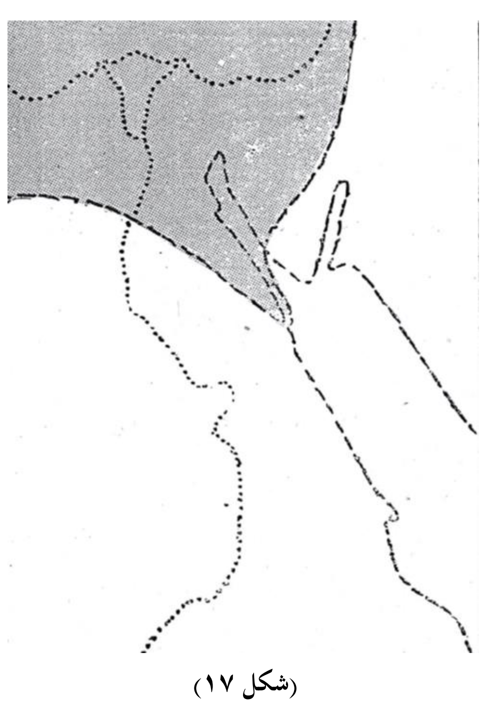
٢- منطقة وادي عربة بالصحراء الشرقية، وتشبه صخوره وحفرياته مثيلاتها في منطقة شبه جزيرة سيناء، وليس به خامات المنجنيز والحديد.

٣- منطقة جبل عوينات في الركن الجنوبي الغربي للصحراء الغربية، وتتكون صخوره من الأحجار الرملية وقد وجدت بها حفريات بعض النبات.

ويلاحظ عدم وجود طبقات الفحم الحجري "الأنثراسيت" في هذا التكوين، مما يدل على أن الأحوال الجوية لم تكن تساعد على نمو النبات في مصر في ذلك العصر بالمقدار الذي يساعد على تراكم بقاياها - الأمر الذي لا بد منه - لتكوين الفحم الحجري، ويبين الشكل (١٧) الأرض والبحر في مصر في العصر الفحمي.

التكوين البرمي: يرجع الأصل في تسمية هذا التكوين إلى منطقة "بيرم" في روسيا حيث تغطي طبقاته مساحات واسعة وتبلغ سمكاً كبيراً وتتكون طبقاته من الصخور الرملية والكونجلومرات والبريشيا والدولوميت والطفل تتخللها طبقات من الملح الصخري والجبس. وتدل طبيعة هذه الرواسب على أنها تكونت في بحيرات مالحة أو بحار مقفلة، على أن بعض طبقاته قد تكون رسبت في بحار عميقة واسعة. ولم تساعد مياه هذه البحيرات والبحار المقفلة على انتعاش الحيوانات فانقرض معظم الأجناس، ولهذا كانت حفريات التكوين قليلة وصغيرة الحجم، ومن بينها الأشنة البحرية والمحارات المزدوجة والبراكيوبوادا والمحارات الحلزونية والنوتيلوس وكثير من المسترئسات - في الطبقات التي رسبت في المحيطات - ومن الفقاريات الاسماك، أما القوازب فتوجد حفرياتها بكثرة - ولو أنها صغيرة الحجم - ولذا سمي عصر هذا التكوين بعصر

القوازب. أما الزواحف فقد ظهرت لأول مرة وتشبه السحالي والتماسيح وحفرياتها قليلة، أما النباتات فتشبه نباتات العصر الفحمي ومنها السرخسيات والصنوبريات أو المخروطات. وتوجد صخور هذا التكوين في إنجلترا وألمانيا وفرنسا وروسيا وبعض ممالك جنوبي أوروبا وفي أمريكا الشمالية والهند وأستراليا وجنوب إفريقيا ولا يوجد هذا التكوين في مصر.



(شكل ١٧)

يبين الأرض والبحر في العصر الفحمي في مصر

حقب الحياة الوسطى

المدى الزمني وأنواع الحياة: يقدر المدى الزمني لهذا الحقب بحوالي ١٢٠ مليون سنة، وفي أثنائه حدثت تغيرات كبيرة في أنواع

الكائنات من حيوان ونبات؛ فهي تختلف عن الأنواع التي عاشت في حقب الحياة القديمة وعن الأنواع التي تلتها في حقب الحياة الحديثة. وهي– في الواقع – الحلقة التي تربط الأنواع القديمة بالأنواع الحديثة. وفي هذا الحقب ازدادت المنخريات زيادة عظيمة في البحار العميقة، وتكونت من تراكم هياكلها طبقات سميكة من الصخور الطباشيرية. وقد انقرضت الجرايبتوليت قبل ابتداء هذا الحقب بزمن طويل، ولكن تكاثرت في أثنائه حيوانات المرجان التي تشبه الأنواع الموجودة الآن. أما البراكيوبودا فكانت تشبه أنواع الحقب القديمة، إلا أنها أخذت في الاضمحلال في أواخر هذا الحقب وملأت حيوانات الأمونيت البحار ولكنها انقرضت بانتهاء هذا الحقب، وظهرت في أثنائه – لأول مرة – حيوانات البلمنيت وانقرضت أيضاً بانتهائه، أما بقية الرخويات من ذوات المحارات المزدوجة والحلزونية، فقد انتعشت وزاد عددها زيادة عظيمة. وكثرت في أثناء هذا الحقب نجوم البحر وكذلك قنافذ البحر، وكان لبعضها هياكل منتظمة وللبعض الآخر هياكل غير منتظمة وعلى شكل القلب. أما زنابق البحر فكانت آخذة في النقصان.

وقبيل بدء هذا الحقب، انقرضت الترايلوبيت وكثرت الحشرات وظهرت منها أنواع تشبه الحشرات الحالية. وقد اختفت الاسماك ذوات الدرع الخارجي وظهرت مكانها اسماك ذات قشور أقرب ما تكون إلى الاسماك الحالية. وفقدت القوازب أهميتها في أواخر هذا الحقب. وقد بلغت الزواحف شأواً كبيراً في هذه الحقب حتى ليسميها البعض "حقب الزواحف" وكانت منتشرة في معظم بقاع الأرض وخاصة في أمريكا

الشمالية. ولبعضها هياكل ضخمة، ويأكل بعضها الاسماك، إلا أن الأنواع الضخمة منها كانت من العاشبات وكانت تسكن الأرض. على أن أنواعاً أخرى اقتحمت مياه البحار والهواء. وتمشي الزواحف التي تسكن الأرض على أرجلها الأربعة، إلا أن بعضها كان يمشي على رجليه الخلفيتين فقط، وهو بهذا يشبه الكانجارو الحالي من ناحية طول رجليه وقصر أطرافه الأمامية. والأنواع التي عاشت في البحار تجمع بين صفات السحالي والاسماك وتشبه التمساح، وقد تحولت أطرافها إلى مجاديف تساعد على السباحة.

وانقرضت الزواحف الضخمة بانتهاء حقب الحياة الوسطى. وحوالي منتصف هذا الحقب ظهرت الطيور، وكانت تختلف عن الطيور الحالية بأن كان لها أسنان. وفي هذا الحقب ظهرت الثدييات لأول مرة، وكانت من الأنواع الكيسية التي تحمل صغارها في كيس مثل الكانجارو الحالي. وقد اختفت تدريجياً – في أثناء هذا الحقب – الأشجار الضخمة من نوع الأشجار الخفية التوالد التي انتشرت في حقب الحياة القديمة وحلت محلها أنواع السيكادو والصنوبريات، وهي من النباتات الظاهرة التوالد العارية البذور. على أنه قبل انتهاء هذا الحقب ظهرت – لأول مرة – النباتات الظاهرة التوالد المستورة البذور.

الطبقات وأنواع الصخور: تقع طبقات هذا الحقب ضمن ثلاثة تكاوين وهي – من الأقدم إلى الأحدث: التكوين الترياسي والتكوين الجوراسي والتكوين الطباشيري. وقد تكون أغلب هذه الطبقات في

المحيطات، إلا أن بعضها قد ترسب في البحيرات أو البحار المقفلة أو فوق الأرض، وربما تتكون من الصخور الطينية والرملية والطفلية والجيرية والطباشيرية. ولقد كان لهذه الحقب دور هدوء وسكون، ولهذا لم تتعرض القشرة الأرضية لشيء من التقلصات بسبب الحركات الأرضية البطيئة، كما لا يكاد يوجد أثر يذكر للصخور البركانية بين طبقاته بسبب عدم النشاط البركاني. وفيما يلي وصف موجز لتكوين هذا الحقب:

التكوين الترياسي: رسبت بعض طبقاته في المحيطات، وهي من الصخور الجيرية الكثيرة الحفريات. وتوجد في جبال الألب وبعض مناطق حوض البحر الأبيض المتوسط، أما البعض الآخر فقد رسب في البحيرات أو البحار المقفلة أو فوق الأرض. وتتكون هذه الطبقات من صخور رملية وطينية وطفيلية تتخللها طبقات من الملح أو الجبس. ويظهر هذا التكوين في إنجلترا وجنوب إفريقيا وبعض المناطق الشاطئية في أمريكا الشمالية.

وقد كشف حديثاً عن طبقات هذا التكوين في مصر في منطقة "معين" بالجزء الشرقي من شبه جزيرة سيناء عند عرايف الناقة بالقرب من الحدود الفلسطينية. وربما تبع هذا التكوين أيضاً بعض طبقات جيرية ورملية لا توجد بها حفريات، وتقع تحت طبقات التكوين الجوراسي في جبل المغارة بشبه جزيرة سيناء أيضاً.

التكوين الجوراسي: أهم الصخور المكونة لطبقات هذا التكوين هي الحجر الجيري المحبب، تتخلله طبقات من الطفل والطين أو من الحجر الطيني الصفحي الذي تتخلله طبقات رقيقة من الحجر الجيري. وفي هذا التكوين توجد حفريات "الأمونيت" بكثرة، وسمي العصر من أجل ذلك "بعصر الأمونيت"، وفيه أيضاً ظهرت حيوانات "البلمنيت" لأول مرة وسمي العصر أيضاً "بعصر الزواحف" لكثرة ما بطبقاته من بقاياها. وتظهر صخور هذا التكوين في إنجلترا وفرنسا وألمانيا وجبال الألب وروسيا والولايات المتحدة وقد وجدت بعض طبقات من الفحم في هذا التكوين في الهند وأستراليا. وتظهر طبقات هذا التكوين في مصر على السطح في منطقتين:

أ- منطقة المغارة شمال شبه جزيرة سيناء.

ب- الجزء الشمالي من منطقة الجلالة البحرية بالصحراء الشرقية على خليج السويس.

وتتكون الطبقات في كلتا المنطقتين من صخور رملية وجيرية وطفلية وطينية، وتحتوي على حفريات كثيرة من الأمونيت والبراكيوبودا والمحارات المزدوجة وغيرها.

التكوين الطباشيري: الطباشير هو أهم الصخور المكونة لطبقات هذا التكوين. ويتخلل طبقات الطباشير طبقات أخرى من الصخور الرملية والطينية. والمنخربات هي أهم الحفريات وتوجد بكثرة زائدة في صخر

الطباشير، ومن الحفريات المميزة لهذا التكوين في البلاد المحيطة بحوض البحر الأبيض المتوسط، الروديستي، وهي نوع من ذوات المحارات المزدوجة. وقد انقرضت الأمونيت والبلنيت بانتهاء العصر الطباشيري، كما بادت الأنواع الضخمة من الزواحف. وتظهر صخور هذا التكوين في إنجلترا وفرنسا وألمانيا وبلجيكا والسويد وروسيا وفي حوض البحر الأبيض المتوسط والأمريكتين والهند. وكان حوض ترسيب هذا التكوين في الدنيا القديمة، من أكبر أحواض الهبوط التي عرفت في التاريخ الجيولوجي.

التكوين الطباشيري في مصر: تغطي طبقات هذا التكوين مساحات واسعة في الصحاري المصرية على جانبي وادي النيل وفي الجزء الشمالي لشبه جزيرة سيناء. وهو مكون من مجموعتين من الطبقات، إحداهما سفلى من الأحجار الرملية الخالية من الحفريات "الحجر الرملي النوبي"، والأخرى عليا من الأحجار الجيرية والطينية بها حفريات حيوانات محيطية.

الحجر الرملي النوبي: مجموعة من طبقات الصخور الرملية الخالية من الحفريات تغطي مساحات واسعة من الصحاري المصرية، فهي تمتد – في الصحراء الغربية – من الحدود الجنوبية إلى الواحات الداخلة والخارجة، وربما تبعت بعض الطبقات التكاوين فيما بين التكوين الفحمي والتكوين الطباشيري. ويظهر التكوين – في الصحراء الشرقية – في وادي عربة بين طبقات التكوين الفحمي والتكوين الطباشيري، ويمتد من

الجلالة البحرية شمالاً إلى حدود السودان جنوباً، ويزداد اتساعاً كلما اتجهنا نحو الجنوب حتى ليغطي نصف الصحراء الشرقية، ويمتد أيضاً نحو شواطئ البحر الأحمر. كما يوجد في شبه جزيرة سيناء فيما بين طبقات التكوين الفحمي والتكوين الطباشيري. وقد وجدت في طبقاته – في بعض المناطق – بعض حفريات لأوراق نباتات العصر الطباشيري. وتوجد بين طبقاته أيضاً بعض خامات الحديد في الجزء الجنوبي من مصر، وخاصة قرب أسوان حيث تستغل مناجمه في تلك المنطقة.

أما طبقات التكوين الطباشيري العليا، فتمتد من الحدود الغربية شرقاً نحو وادي النيل، وتمتد من الواحة البحرية والفرافرة شمالاً إلى الواحة الداخلة والواحة الخارجة جنوباً. كما تغطي صخوره منطقة أبي رواش شمالي أهرام الجيزة. وتمتد – في الصحراء الشرقية – في مناطق متفرقة من قرب أسوان جنوباً إلى الجلالة البحرية شمالاً، كما تغطي مساحات واسعة في شبه جزيرة سيناء. وتوجد صخور الفوسفات في طبقات تتخلل هذه المجموعة. وتتكون من عظام بعض الاسماك والزواحف وأسنانها. وتوجد طبقات صخر الفوسفات بالقرب من سفاجة والقصير على ساحل البحر الأحمر حيث تستغل بكميات وفيرة. كما توجد في مناطق متفرقة في الصحراء الشرقية، وفي وادي النيل قرب السباعية، وفي الواحات الداخلة والخارجة بالصحراء الغربية. كما يوجد بين طبقاتها صخور من الطين الصفحي تحتوي على نترات وتستعمل كسماد طبيعي.

المدى الزمني وأنواع الحياة: يقدر المدى الزمني لهذا الحقب بنحو ٧٠ مليون سنة. وتشبه أنواع الحياة – من حيوان ونبات – التي عاشت في هذا الحقب، الأنواع التي تعيش الآن شبهاً كبيراً. وقد تدرجت أنواع الحياة في هذا الحقب من الحياة الوسطى إلى الحياة الحديثة، واستمرت المنخربات في الحياة، وكان أهم أجناسها النمييات التي تكاثرت وبلغت القمة في العصر الأيوسيني، وفيه كونت محاراتها طبقات جيرية سميكة منتشرة في الممالك المحيطة بحوض البحر الأبيض المتوسط، ويمكن مشاهدتها في مصر في جبل المقطم ومنطقة أهرام الجيزة، غير أنها انقرضت قبل انتهاء العصر الأوليجوسيني التالي. ولقد تكاثرت الرخويات ذوات المحارات المزدوجة والمحارات الحلزونية وكذلك القنافذ البحرية وبخاصة في عصر الأيوسين والميوسين. وازدادت الحشرات زيادة عظيمة حتى أصبحت أكبر الشعوب الحيوانية في عدد أجناسها وأنواعها. واندثرت الطيور ذوات الأسنان وحلت محلها أنواع لا أسنان لها، وهي من مميزات هذا الحقب. وبلغت الثدييات أقصى نموها وهي من مميزات هذا الحقب أيضاً، وتوجها ظهور الإنسان في العصور الأخيرة منه، كما تكاثرت النباتات الظاهرة التوالد المستورة البذور وانتشرت، وتعتبر من مميزات هذا الحقب.

الطبقات وأنواع الصخور:– تقع طبقات هذا الحقب ضمن ستة تكاوين هي – من الأقدم إلى الأحدث: الأيوسيني، الأوليجوسيني،

الميوسيني، البليوسيني، البليستوسيني، الحديث. ويتبع الأربعة الأولى القسم الثلاثي، والأخيرين القسم الرباعي لهذا الحقب. وتتكون طبقات تكاوين القسم الثلاثي من صخور جيرية وطفلية وطينية. وطبقات تكاوين القسم الرباعي من رواسب الثلج في عصر الجليد ورواسب الأنهار القديمة، ورواسب الكهوف، كما تشمل رواسب الأنهار الحالية من حصى ورمل وطين، والرواسب الأرضية مثل كثبان الرمال، والرواسب التي تتكون الآن في البحيرات والبحار والمحيطات.

ولم يكن هذا الحقب كسابقه في سكونه وهدوئه، إذ حدثت في أثناء العصور الثلاثية حركات أرضية نتجت عنها تقلصات في القشرة الأرضية سببت تكوين سلاسل جبال عظيمة مثل الهيمالايا والألب والبيرانيز والأطلس، وتكوين بعض المنخفضات مثل البحر الأبيض المتوسط وغيره من البحار والخلجان، كما نشط الفعل البركاني. وفيما يلي وصف موجز لتكاوين هذا الحقب:

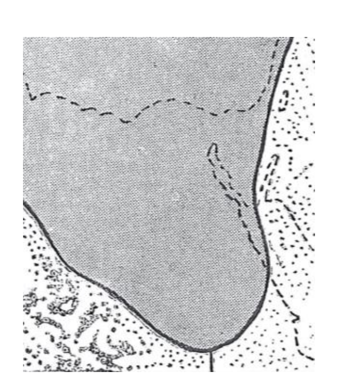
القسم الثلاثي:

التكوين الأيوسيني: تتكون طبقاته من الصخور الجيرية والرملية والطينية والطفلية، ومن أهم حفرياته النمبيات، وتتكون من هياكلها طبقات سميكة من الصخور الجيرية، ويعرف الأيوسين "بعصر النمبيات" ومن حفريات النباتات أشجار التين والنخيل، وغيرها، وقد وجدت في كثير من بقاع أوروبا مما يدل على أن الطقس كان حاراً في تلك البقاع.

وتظهر صخور هذا التكوين في معظم الممالك الأوروبية وفي إفريقيا وأمريكا الشمالية واستراليا والهند وكثير من بقاع العالم.

التكوين الأيوسيني في مصر: تغطي صخور هذا التكوين نحو خمس مساحة مصر في مناطق واسعة في الصحراء الغربية والشرقية، وممتداً على جانبي وادي النيل وفي أواسط شبه جزيرة سيناء. وينقسم التكوين إلى ثلاث مجموعات من الطبقات: سفلى، ومتوسطة، وعليا.

ومعظم الطبقات السفلى والمتوسطة جيرية وتقتلع منها أحجار البناء في مصر. أما الطبقات العليا فتحتوي صخورها الجيرية على نسبة كبيرة من الرمل وتكثر بها الصخور الطفلية والطينية. وتستغل الصخور الجيرية والطينية – من هذا التكوين – في صناعة الأسمنت، كما تستغل أنواع الجبس النقي والسيلينيت في صناعة المصيص. ويبين الشكل رقم ١٨. الأرض والبحر في مصر في العصر الأيوسيني.



شكل ١٨

التكوين الأوليجوسيني: تتكون طبقات هذا التكوين في معظم البقاع من صخور رملية وطينية وطفلية، وقد تكون بعضها في مياه البحار والبعض الآخر في مياه البحيرات أو المستنقعات أو الأنهار. ويستنتج من ذلك أنه كانت هناك حركة بطيئة في القشرة الأرضية، نشأ عنها ارتفاع وانخفاض في سطحها. والحفريات في هذا التكوين قليلة لعدم ملاءمة الأحوال لتكاثر الكائنات، ومعظمها من الرخويات ذات المحارات المزدوجة والحلزونية، ولا تختلف عن أنواع العصر السابق إلا في قلة عددها. وقد انقرضت النمييات قبل انتهاء هذا العصر، وكانت الحشرات كثيرة جداً. وتوجد بعض المحارات الحلزونية مما تعيش في المياة الضاربة للملوحة وفي مياه عذبة أو فوق الأرض. وظهر في هذا العصر أحد أسلاف الفيل وحيوان الأرسينوثيريوم الفريد، كما ظهر فيه أول أنواع القردة. ولم تختلف النباتات كثيراً عن العصر السابق، إذ كثر النخيل وأشجار الصنوبريات والتين وغيرها مما يدل على طقس دافيء. وتظهر صخور هذا التكوين في كثير من الممالك الأوروبية وفي أمريكا الشمالية واستراليا. وقد نشط الفعل البركاني في ذلك العصر، ولهذا توجد بين طبقاته الكثير من الصخور البركانية.

التكوين الأوليجوسيني في مصر: طبقات هذا التكوين من النوع السابق ذكره. وهي مكونة من الحصى والرمال والصخور الرملية، وتحتوي على الكثير من الأخشاب المتحجرة. وقد وجد بين طبقات هذا التكوين – شمالي مديرية الفيوم – عظام أحد أسلاف الفيل، كما وجدت عظام

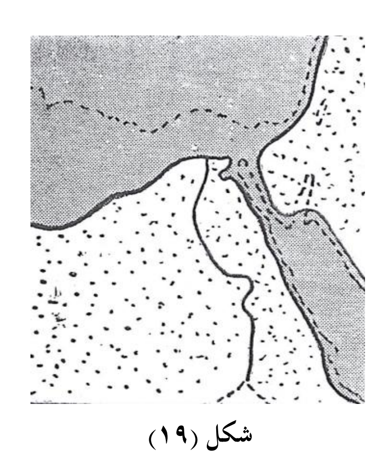
لحيوان فريد في نوعه يعرف باسم "أرسينوثيريوم" لم يوجد إلا في مصر فقط، وهي محفوظة في المتحف الجيولوجي بالقاهرة. وتدل عظامه على أنه حيوان ضخم يبلغ طوله ٣,٥ مترا وارتفاعه مترين، وله أربعة قرون، اثنان منها كبيران والآخران ناقصا النمو، كما تدل أسنانه على أنه من العاشبات. ووجدت في نفس الطبقات بعض السلاحف الضخمة يبلغ طول هيكلها نحو متر، وارتفاعه حوالي نصف متر. وتغطي صخور هذا التكوين مساحة واسعة في الصحراء الغربية، تمتد من شمال شرقي الواحة البحرية إلى شمالي مديرية الفيوم، حتى تصل إلى وادي النيل، وتمتد شمالاً إلى وادي النطرون. كما تظهر في الصحراء الشرقية في المنطقة الواقعة بين القاهرة والسويس ومناطق أخرى متفرقة. وتتخلل طبقات هذا التكوين مجموعة من الصخور البركانية أشهرها صخر البازلت المعروف بالقرب من أبي زعبل. ومنها صخر البازلت بجبل القطراني شمالي مديرية الفيوم، وفي منطقة أبي رواش شمالي أهرام الجيزة، وفي مناطق أخرى متفرقة بالقرب من الواحات البحرية.

التكوين الميوسيني: تتكون طبقات هذا التكوين – في أغلب المناطق – من صخور جيرية وطفلية ورملية. ويستدل من دراستها في مختلف المواقع على أن بعضها قد تكون في بحار عميقة جداً نتجت من المنخفضات التي تكونت من فعل الحركة الأرضية التي سببت تكوين سلاسل جبال الألب والهيمالايا والأطلس وغيرها. ومن بين هذه المنخفضات، حوض البحر الأبيض المتوسط الكبير الذي كان يمتد في

ذلك العصر شمالاً إلى فيينا وجنوباً إلى واحة سيوة. كما تكون البعض الآخر من الطبقات في بحار مقفلة أو في بحيرات شاطئية أو في مياه عذبة. والطبقات التي تكونت في المنخفضات العميقة، سميكة جداً – كما هو الحال في ايطاليا إذ يبلغ سمكها حوالي ٢٠٠٠ مترا، وفي مصر في جزيرة طويلة وغيرها في البحر الأحمر حيث يصل سمك الرواسب الميوسينية إلى أكثر من هذا القدر – وهي غنية بحفريات الحيوانات البحرية، أما الطبقات التي تكونت في بحار داخلية أو في المياه العذبة، فهي غنية بحفريات بقايا النباتات والحشرات وغيرها.

ومن أهم حفريات هذا التكوين المنخربات، وتوجد في معظم الصخور الطفلية والمحارات المزدوجة والحلزونية والقنافذ البحرية. وبلغت الثدييات شأناً عظيماً فظهر الخرتيت لأول مرة، والأيل ذو القرون المشعبة، وانتشرت القردة بأنواعها، وانتشر أحد أسلاف الفيل من إفريقيا إلى آسيا وأوروبا. ووجدت بقايا حيوانات تشابه البير، كما ظهر في أمريكا أحد أسلاف الجمل وهو على هيئة الزرافة. وكثر من النباتات المخروطيات والسرخسيات والنخل. وتدل جميع الحفريات على أن الطقس في أوروبا قد أخذ في الاعتدال. ولا تظهر صخور هذا التكوين في الجزء الشمالي الغربي لأوروبا، فهي لا تظهر في إنجلترا، وتوجد في معظم بقية الممالك الأوروبية وخاصة الممالك التي تقع حول حوض البحر الأبيض المتوسط، كما توجد في بعض ممالك القارات الإفريقية وآسيا والأمريكتين وأستراليا.

التكوين الميوسيني في مصر: تغطي صخور هذا التكوين مساحات كبيرة جداً من الجزء الشمالي للصحراء الغربية، وتتكون من رواسب محيطية. وتوجد مثل هذه الصخور في المنطقة الواقعة بين القاهرة والسويس وفي غرب شبه جزيرة سيناء. وتشابه هذه الطبقات مثيلاتها في النمسا لرويها في حوض واحد وهو الحوض الأكبر للبحر الأبيض المتوسط في هذا العصر. وتوجد صخور هذا التكوين أيضاً على امتداد شاطئ البحر الأحمر ولكنها تختلف في طبقاتها عن الصخور السابقة، فهي تتكون من طبقات من الطفل به الكثير من هياكل المنخربات المعروفة بالجلوبحرينا، وبينها طبقات سميكة من الجبس مما يدل على تكوينها في بحيرات شاطئية. وتحتوي طبقات هذا التكوين في منطقة المغرة بالصحراء الغربية على حفريات عظام لكثير من الحيوانات، مثل الماستودون "أي الفيل القديم" والتماسيح والسلاحف الأرضية والسلاحف المائية وغيرها. ويبين الشكل (١٩) الأرض والبحر في العصر الميوسيني في مصر.

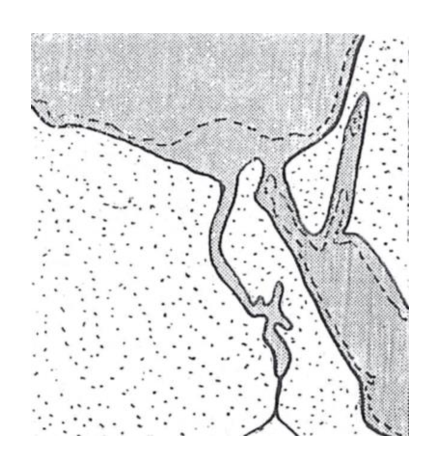


شكل (١٩)

وتوجد في هذا التكوين في مصر مواد ذات قيمة اقتصادية، منها الكبريت ويوجد في عروق تخترق صخور الجبس، والحجر الجيري في منطقة جمسا على البحر الأحمر، أو في طبقات كما في عريعر وغيرها في جبال البحر الأحمر قرب الساحل. ومنها أيضاً خامات الزنك والرصاص في منطقة أم غيج وجبل الرصاص وسفاجة بالصحراء الشرقية، وخام البترول وهو أهم موارد الثروة المعدنية بمصر.

التكوين البليوسيني: تتكون طبقات هذا التكوين في معظم المناطق من صخور رملية وطينية وجيرية وطفلية، تكون بعضها في بحار غير عميقة والبعض الآخر في بحيرات أو أنهار. وهي طبقات غير سميكة في شمال وغرب أوروبا، وأكبر سمك لها في إيطاليا وكانت الحيوانات اللافقرية في هذا العصر، إما من نفس الأنواع التي تعيش الآن، وإما أنها ضروب لتلك الأنواع. وقد بلغت الثدييات – في هذا العصر – أقصى درجات الكمال، فظهرت المها "بقر الوحش" والغزلان والحمير البرية واللواحم والحصان والجمال والثيران والدببة والذئاب، وكان معظمها كبير الحجم. وقد وجدت بين حفريات هذا التكوين بعض العظام المفتتة، يظن البعض أنها من عظام الإنسان ويعتقد البعض الآخر أنها من عظام القردة. وتوجد نباتات هذا العصر في حالة انتقال بين أنواع العصر السابق والعصر الحديث. وتدل حيوانات ونباتات هذا العصر على أن الطقس في أوروبا قد أخذ في البرودة. وتوجد صخور هذا التكوين في معظم الممالك الأوروبية وفي إفريقيا وآسيا وأمريكا الشمالية وأستراليا.

التكوين البليوسيتى في مصر: توجد بعض طبقات هذا التكوين على جانبي وادي النيل. وتمتد الطبقات التي تكونت في البحر جنوباً إلى الفشن في الوجه القبلي (شكل ٢٠). وتتكون من الحجر الجيري وتحتوي على حفريات القنافذ البحرية والمحارات المزدرجة وغيرها. وهذا يدل على أن منطقة وادي النيل الممتدة من البحر إلى الفشن كانت خليجاً من الخلجان البحرية. أما باقي الطبقات فتدل على أنها تكونت في بحيرات أو أنهار، وتتكون من الرمال والطين وتمتد جنوباً إلى قرب إسنا. وتوجد مجموعة من طبقات هذا التكوين في وادي النطرون، وتحتوي على حفريات لبقايا أفراس البحر والفيلة والزراف وأحد أسلاف الحصان وبعض اللواحم والسلاحف والتماسيح والاسماك وغيرها، مما يدل على وجود دلتا نهر عظيم في هذه المنطقة في ذلك العصر. كما توجد أيضاً بعض الطبقات البحرية التابعة لهذا التكوين على امتداد الشاطىء المصري للبحر الأحمر.



شكل ٢٠

التكوين البليستوسينى: لا تزال كل أنواع الكائنات التي عاشت في هذا العصر – ما عدا القليل منها– موجودة الآن ومن الأنواع البائدة عدد قليل من الثدييات. وتختلف رواسب هذا العصر من منطقة إلى أخرى أو في المنطقة نفسها بسبب اختلاف الطقس. ويتبع هذا التكوين – طين الجلاميد "وهو من ترسيب الثلوج"، ورواسب الكهوف والرواسب القديمة للأنهار، وبعض رواسب المحيطات مثل صخور المرجان في الشواطىء المرفوعة وغيرها. ويمتاز هذا العصر بشدة البرودة، وفيه غطى الثلج والجليد معظم بقاع أوروبا وأمريكا الشمالية ولهذا يعرف بعصر الثلج. وفي هذه البقاع تتكون طبقات طين الجلاميد. أما في المناطق التي لا يغطيها الثلج، فتتكون الطبقات الأخرى. وتوجد بين رواسب الكهوف والرواسب القديمة للأنهار أدلة أكيدة على وجود الإنسان في ذلك العصر، منها عظام الإنسان نفسه، ومنها – وهذا هو الغالب– آلات حجرية كان يستعملها الإنسان في الدفاع عن نفسه وفي الصيد ولأغراض مختلفة أخرى. ودراسة الآلات التي كان يستعملها الإنسان في الأزمنة الغابرة هي حلقة الاتصال بين علم طبقات الأرض وعلم العاديات.

وينقسم تاريخ ارتقاء الإنسان في المدنية إلى ثلاثة أقسام هي: العصر الحجري وعصر البرونز، وعصر الحديد. وتعتبر هذه العصور بمثابة درجات في التقدم الإنساني؛ فهو لم يبلغها في وقت واحد في

جميع أنحاء العالم. فعندما كان قدماء المصريين في أوج عظمتهم من المدنية، كان الأوروبيون لا يزالون في عصور من الجاهلية. وعصر البليستوسين هو العصر الحجري للإنسان وينقسم إلى قسمين هما:

العصر الحجري القديم: وفيه استعمل الإنسان آلات من الصخور الصلبة مثل الصوان والكوارتزيت مهذبة تهذيباً بسيطاً مثل البلط وغيرها، وتوجد هذه الآلات في رواسب الأسرة النهرية ورواسب الكهوف وغيرها. ويغلب أن يوجد معها عظام بعض الحيوانات غير الأليفة التي عاشت في هذا العصر مثل الماموث والدببة والأيل. وفي أواخر هذا العصر سكن الإنسان الكهوف وكان صياداً. وقد ترك على جدران هذه الكهوف أشكالاً مرسومة أو محفورة تدل على أنه وصل إلى درجة كبيرة من الرقي.

العصر الحجري الحديث: وفيه استعمل الإنسان آلات حجرية مهذبة تهذيباً تاماً وفي درجة كبيرة من الإتقان. وكانت أشكالها كثيرة، والسبب في ذلك تقدم الإنسان في مدنيته وزيادة احتياجاته، فكانت منها رءوس الحراب ورءوس السهم والسكاكين والمناجل وغيرها.

وتوجد هذه الآلات في رواسب الأسرة النهرية وفي بعض الكهوف مع بعض عظام الحيوانات التي استأنسها الإنسان – في هذا العصر– وأصبحت أليفة، ومنها الكلب والحصان والبقرة والماعز والأغنام. ومن هذه المجموعة من الحيوانات، يمكن استنتاج أن إنسان العصر الحجري الحديث قد اشتغل بالزراعة. وهناك ما يدل على تعلمه فن صناعة الفخار.

التكوين البليستوسيني في مصر: كان هذا عصر أمطار شديدة في مصر، وتتكون طبقاته من الرمل الخشن والحصى. ومنها طبقات الحصى التي تقع تحت التربة في وادي النيل والتي تدل على أن النيل – في هذا العصر– كان يجري على هيئة السيل. ومنها الأسرة النهرية التي تقع على جانبي وادي النيل والوديان الكبيرة. ويتبع هذا التكوين أيضاً، كثبان الرمال البيضاء المتماسكة التي تمتد على شاطىء البحر الأبيض المتوسط غربي الإسكندرية، كما تتبعه بعض صخور المرجان التي تكون بعض الشواطىء المرفوعة في منطقة البحر الأحمر. وتوجد الآلات الصوانية التي كان يستعملها الإنسان بين حصى ورمال أسرة نهر النيل وأسرة الوديان وبعض مناطق متفرقة في الصحاري المصرية. ويدل انتشار هذه الآلات على وجود إنسان العصر الحجري في مناطق متعددة من وادي النيل والصحاري المصرية.

التكوين الحديث: ويشمل هذا التكوين طمي الأنهار الحالية وكثبان الرمال والشعاب المرجانية الحالية، والرواسب التي تتكون الآن في البحار والمحيطات وبقايا النباتات أو الحيوانات الموجودة بهذه الرواسب من الأنواع الموجودة في العصر الحالي.

ويشمل التكوين الحديث في مصر: تربة الأراضي الزراعية والكثبان الرملية والشعاب المرجانية التي تتكون الآن على شواطئ خليج السويس والبحر الأحمر وبعض الجزائر المنتشرة فيه.

ملخص التاريخ الجيولوجي في مصر

ترتكز كل الصخور الراسبة في مصر على أساس من مجموعة من الصخور، بعضها متحول ويشمل النيس والشيست والإردواز والكونجلومرات، والآخر ناري ويشمل الجرانيت وصخوراً نارية أخرى وكثيراً من السدود والطفوح البركانية. وهذه المجموعة خالية من الحفريات، وقد تعرضت للحركات الأرضية، وتدخل فيها صخور نارية أخرى، والرأي السائد أن هذه المجموعة تابعة للتكوين الآركي.

وقد عملت في هذه المجموعة عوامل التعرية من بدء تكوينها إلى العصر الفحمي وبعده بقليل، فتفتت ما بها من المرو (الكوارتز)، ونشأ عن ذلك الحصى والرمال التي كونت الطبقات السميكة من الحجر الرملي النوبي، وربما استغرق تكوينها كل العصور من العصر الفحمي إلى العصر الطباشيري.

ومن الثابت أن حركة هبوط في الأرض كانت تجري في تلك الأثناء، يتبعها طغيان من البحر عليها. والدليل على ذلك وجود صخور جيرية تكونت في المحيطات في العصر الجوراسي في شمال شبه جزيرة سيناء، في حين أن الصخور الجيرية التي تحتوي على حفريات حيوانات بحرية والتي تقع في الجزء الجنوبي من مصر تكونت فقط في العصر الطباشيري.

وبحلول العصر الأيوسيني، كانت هناك حركات أرضية نتجت عنها تجعدات كثيرة، وارتفعت بعض طبقات التكوين الطباشيري إلى سطح الأرض وتعرضت لعوامل التعرية.

وحدثت عند انتهاء العصر الأيوسيني حركة ارتفاع أرضية أخرى، ولكنها لم تحدث تدريجياً كسابقتها، فنتجت عنها تجعدات كثيرة وتشقق عظيم المدى في الطبقات، تسببت عنها الفوالق الحوضية العظيمة التي كونت حوض البحر الأحمر وخليج السويس، فطغت عليها مياه البحر الأبيض المتوسط.

أما عصر الميوسين البليوسين فقد حدثت فيهما – في أوروبا – حركة أرضية تسببت عنها تجعدات تكونت منها سلاسل جبال عظيمة. ولقد تأثرت مصر بهذه الحركة فطغت مياه البحر في العصر البليوسيني على وادي النيل – الذي كان قد تكون – وأصبح خليجاً من البحر.

تبع ذلك تغيرات في وادي النيل نفسه، فتكونت فيه بحيرات عديدة. ثم تلا ذلك جريان سيول جارفة من الصحراء الشرقية كونت الكثير من الأسرة في الوديان. وعقب ذلك ظهر إنسان العصر الحجري – القديم والحديث– في مناطق متعددة في وادي النيل وفي الصحراء.

أما النشاط البركاني فقد حدث مرتين في التاريخ الجيولوجي في مصر بعد التكوين الآركي. وكانت المرة الأولى عند بدء تكوين الحجر الرملي النوبي في المنطقة بين خطي عرض ٥ ر ٥٤، ٥ر٥٥ خصوصاً

في منطقة وادي نتش. أما المرة الثانية فكانت في العصر الأوليجوسيني، ونتجت عنها سدود أفقية من صخر البازلت، تظهر الآن في منطقة أبي زعبل وشمالي أهرام الجيزة وشمالي مديرية الفيوم وفي الواحات البحرية وفي غربي شبه جزيرة سيناء.

الفصل الخامس

عمل الخرائط الجيولوجية والاستفادة منها

هندسة خطوط المناسيب الطبوغرافية، سطوح التركيب محددة بخطوط المناسيب وخط التقاطع أو بروز الطبقة، عمل خريطة جيولوجية، أنواع ومقاييس الخرائط التي تصدرها المساحة الجيولوجية، فائدة الخرائط الجيولوجية.

الخريطة الجيولوجية – أساساً – هي مسقط أفقي يبين بروز مختلف التكاوين الجيولوجية في المنطقة التي تمثلها الخريطة. والخطوط الجيولوجية هي بروز سطوح الطبقات أو الفوالق أو سطوح أخرى تفصل التكاوين، وتلون المساحات التي تشغلها التكاوين نفسها بألوان أو تظاليل مميزة. وتستعمل رموز قياسية لبيان ميل الطبقات ومحاور الانثناء والجانب الموجود به رزمية الفالق والعروق الممعدنة ومعلومات جيولوجية أخرى.

ويتوقف بروز أي سطح من سطوح الطبقات – أي الخط الذي يحد السطح الأعلى أو الأسفل لأي تكوين – على عاملين هما:– شكل أو هيئة التكوين وطبوغرافيته، وشكل سطح الأرض. ولهذا السبب فإن

خطوط المناسيب الطبوغرافية التي تحدد شكل سطح الأرض تبين على جميع الخرائط الجيولوجية فيما عدا الخرائط ذات المقياس الصغير. فإذا كان لدينا طبوغرافية المنطقة وشكل سطح الطبقة، فإن رسم خط التقاطع أو بروز سطح الطبقة على الخريطة يصبح مسألة هندسية بسيطة. وبالمثل "وغالباً ما تكون هذه هي المشكلة" فإنه من الممكن تحديد شكل سطح الطبقة من الطبوغرافية وشكل البروز، أي أنه من الممكن استنتاج التركيب الجيولوجي تحت سطح الأرض الذي يدل على الشكل الخاص للبروز. هذه هي طريقة قراءة الخرائط الجيولوجية.

وأحسن طريقة لتحديد شكل أي سطح – بطريقة بيانية في المسقط الأفقي– تكون باستعمال خطوط مناسيب خاصة[٢] مرسومة على المسقط الأفقي.

والناس معظمهم معتادون على استعمال خطوط المناسيب الطبوغرافية لبيان وتوضيح سطح الأرض. وترسم هذه الخطوط – على خرائط مصلحة المساحة العادية بالمملكة المتحدة بمقياس بوصة واحدة لكل ميل – عند كل ١٠٠ قدما إلى ارتفاع ١٠٠٠ قدما وبعد ذلك عند كل ٢٥٠ قدماً. إلا أن اختيار هذه المسافات من الارتفاع هي بالطبع

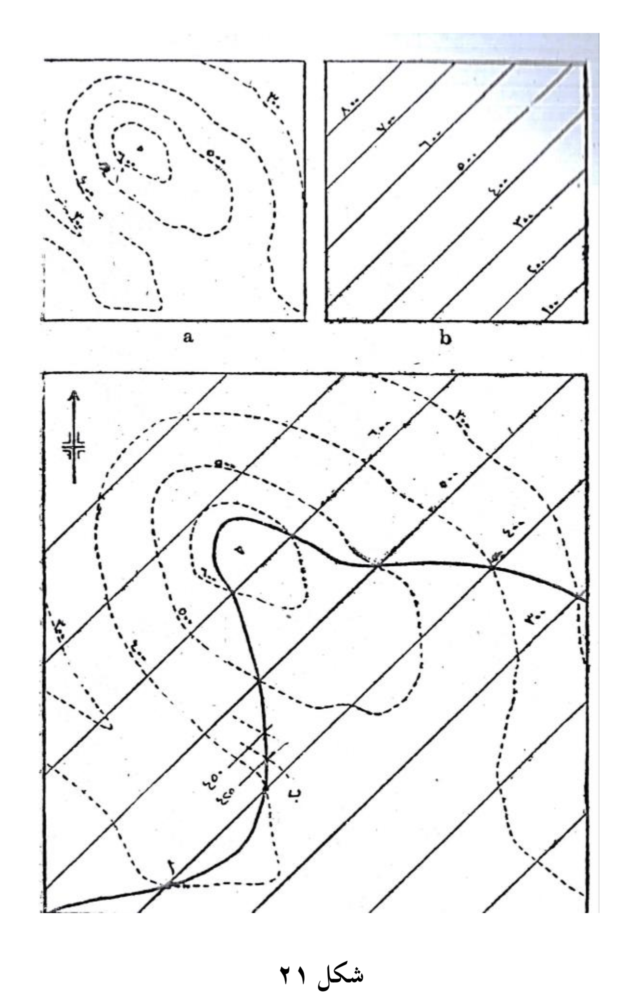
[٢] إذا تصورنا أن سطح الأرض غمر تدريجياً بارتفاع منسوب سطح البحر بمقدار مائة قدم في كل مرة، فإن خطوط الشواطيء المتعاقبة هي خطوط مناسيب، فإذا رسمت هذه الخطوط على سطح مستوى أفقي فإنها تعطينا خطوط مناسيب عند كل مائة قدم يمكن تصغيرها لمقياس الخريطة المطلوب.

أمر عرفي. وتستعمل المسافات الكبيرة في خرائط المناطق قليلة الاستعمال أو قليلة النفع اقتصاداً في أموال الدولة..

ويمكن استعمال هذه القاعدة لتوضيح أي سطح؛ فخطوط المناسيب لأي سطح منتظم مائل عبارة عن خطوط مستقيمة متوازية تبعد بعضها عن بعض بمسافات متساوية، وتسجل المسافة بين خطوط المناسيب شدة انحدار الميل، أما خطوط المناسيب لوعاء مقلوب أو لقبة فهي عبارة عن دوائر متحدة المركز.

إن انطباق مجموعتين من خطوط المناسيب على الخريطة الواحدة يجب ألا يدعو إلى الارتباك. فالشكل "٢١-أ" يبين منطقة بسيطة التضاريس وتصل إلى ارتفاع يزيد بقليل عن ٦٠٠ قدما والشكل "٢١-ب" يبين خطوط مناسيب طبقة منتظمة الميل ويميل سطح طبقها المستوي نحو الجنوب الشرقي. ويبين الشكل "٢١-ج" هاتين المجموعتين منطبقتين. إن بروز سطح الطبقة "وهو عبارة عن تقاطعه مع سطح الأرض" وهو المحل الهندسي لجميع النقط التي يشترك فيها هذين السطحين في نفس الارتفاع. وتحدد المواقع المضبوطة التي يكون فيها هذين السطحين على نفس الارتفاع بنقط تقاطع خطوط مناسيب الطبقة مع خطوط المناسيب الطبوغرافية. ويمكن الحصول على نقط إضافية أخرى أقل ضبطاً إذا ما أريد ذلك بإضافة خطوط أخرى من خطوط مناسيب الطبقة وخطوط المناسيب الطبوغرافية. ويظهر بروز سطح الطبقة في الشكل "٢١-ج" في خط ثقيل أسود.

على أنه إذا كان لدينا فقط بروز سطح الطبقة وخطوط المناسيب الطبوغرافية فإنه يمكن رسم خطوط مناسيب الطبقة، وبهذا نحدد شكل سطح الطبقة الذي يعطينا مثل هذا البروز. فعند كل موقع يقطع فيه البروز أحد خطوط المناسيب الطبوغرافية يكون سطح الطبقة على نفس الارتفاع، وبما أن خط منسوب الطبقة يجب أن يمر بجميع النقط الموجودة في المستوى على نفس الارتفاع، فإنه يمكن رسم هذا الخط يوصل هذه النقط معاً "مثال ذلك النقط أ، ب، ج، لخط المنسوب الطبوغرافي بارتفاع ٤٠٠ قدم في الشكل رقم ٢١-ج". فإذا كانت كل خطوط مناسيب الطبقة التي رسمت، عبارة عن خطوط مستقيمة ومتوازية وعلى أبعاد متساوية – مثل الحالة التي نحن بصددها – فإن معنى هذا أن سطح الطبقة هو سطح مستو يميل بانتظام، ويكون التركيب الجيولوجي إذن عبارة عن مجموعة طبقات مستوية مائلة.



شكل ٢١

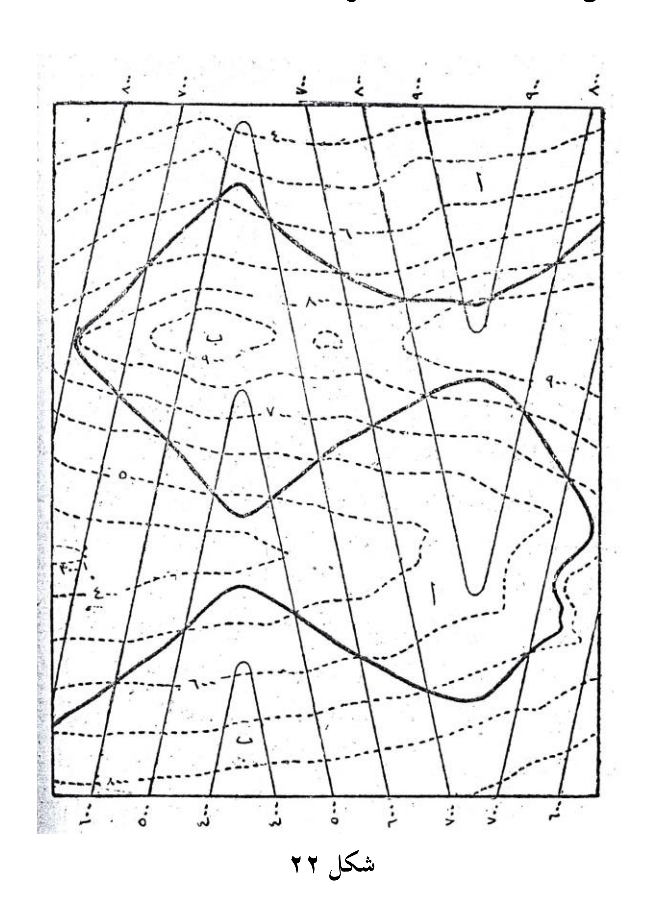
وإذا استثنينا الطبقات الأفقية التي يتبع بروزها خطوط المناسيب الطبوغرافية والطبقات الرأسية التي ينطبق بروزها على اتجاه الطبقات، وغير مرتبطة بخطوط المناسيب الطبوغرافية، فيكون هذا التركيب الجيولوجي أبسط تركيب يمكن تصوره. ومن العسير أن نسير إلى أكثر من هذا في تطبيق الهندسة على قراءة الخرائط الجيولوجية، ولكننا ندرج هنا الشكلين "٢٢، ٢٣" لبيان العلاقات بين بروز الطبقة وخطوط

مناسيبها وخطوط المناسيب الطبوغرافية لطية متماثلة مائلة ولعدم التوافق بين الطبقات "وفيها أكثر من مجموعة واحدة من الميول". وسوف لا يجد الذين اعتادوا رؤية الأشياء المجسمة صعوبة تذكر في تفهم هذه الأشكال التي يمكن زيادة إيضاحها بتلوين التكاوين المختلفة.

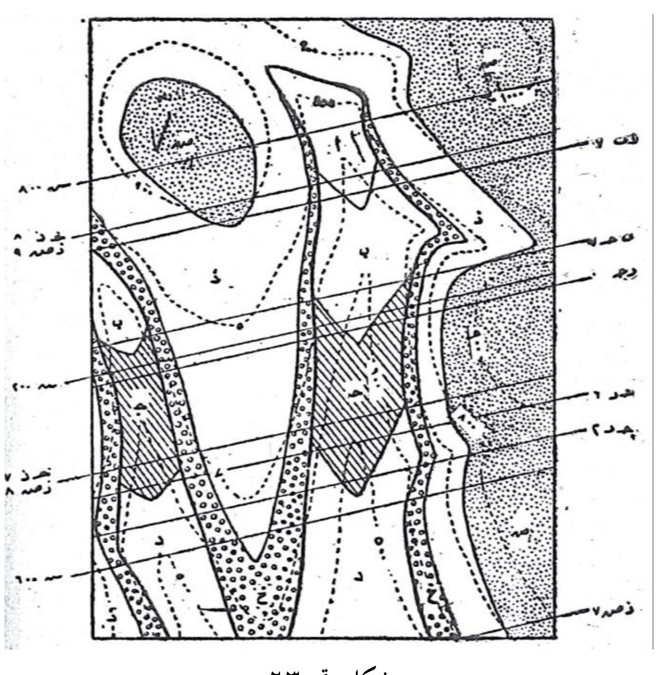
عمل الخرائط الجيولوجية: إن المشكلة في عمل الخرائط الجيولوجية ليست المشكلة النظرية في وضع بروز الطبقة لتركيب جيولوجي معلوم عبر منطقة خاصة، ولكن المشكلة هي رسم بروز الطبقات الفعلي لمجموعة تكاوين جيولوجية في منطقة خاصة بقدر استطاعتنا وبقدر ما يمكن من الدقة. وفي أثناء هذه العملية نكون آراءنا فيما يتعلق بالتركيب الجيولوجي، وبهذا تكون الخريطة التي أكملناها معبرة عن تفسيرنا الشخصي للشواهد الموجودة. وتكاد تكون الصعوبة الوحيدة وجود غطاء من النباتات أو التربة أو الرواسب السطحية يخفي ما تحته مما يسمى "بالجيولوجيا الصلدة" للمنطقة. ويظهر جزء صغير فقط من هذه الجيولوجيا في المواقع الطبيعية القليلة المكشوفة التي توجد في المنطقة. وقد تكون هذه المواقع عبارة عن صخرة بارزة أو مساحات صغيرة مكشوفة في سفوح التلال أو في مجرى الأنهار. وقد تكون هذه المواقع من صنع الإنسان مثل المناجم والمحاجر والأنفاق المفتوحة للطرق أو للسكك الحديدية أو للمصارف. وعلينا أن نستنتج من هذا العدد القليل من الدلائل توزيع الصخور تحت جميع الغطاءات من نبات أو ركام، وذلك بتوصيل نقط ظهور الطبقات المعروفة بعضها ببعض. فإذا حددنا الميل والاتجاه لطبقة ما في بعض مواقع ظهورها، فإنه يمكننا رسم خطوط مناسيب الطبقة ونتنبأ بما سوف يكون عليها بروزها عبر المنطقة، على أنه من النادر – في الطبيعة – أن يكون الميل والاتجاه

ثابتين وخاصة في المناطق الواسعة، لأن فالقاً صغيراً قد يحدث تغييرات مهمة في بروز الطبقات. وعلى هذا لا يكون للتطبيقات الهندسية سوى فائدة محدودة، ومن ثم يجب تطبيقها محلياً فقط، كما يجب أن نتأكد من صحة استنتاجاتنا بالرجوع إلى كل ما يمكن مشاهدته في المنطقة.

إن كل ما يمكن مشاهدته من ظواهر طبوغرافية وتضاريس بسبب عوامل التعرية المتفاوتة وخطوط الينابيع، كل هذه قد تكون مهمة جداً وقد تكشف عن وجود بعض الطبقات الخاصة عبر المنطقة.



شكل ٢٢



(شكل رقم ٢٣)

خريطة جيولوجية تبين عدم التوافق بين الطبقات (مجموعة قديمة من الطبقات أ، ب، ج، د، مالت نحو الجنوب ثم عملت عليها عوامل التعرية فسوت سطحها، ثم ترسبت فوق هذا السطح مجموعة جديدة من الطبقات س، ص، ي وهذه أيضاً مالت في نفس اتجاه الطبقات القديمة.
وتظهر في الخريطة خطوط اتجاه الطبقات "خطوط مناسيب الطبقة" للمجموعة القديمة وسطح عدم التوافق والمجموعة القديمة متوازية ولكنها ليست متساوية الأبعاد وذلك بسبب اختلاف ميل طبقاتها).

وعندما لا يوجد الركام أو يكون سمكه قليلاً، فإن لون التربة أو طبيعة النباتات قد يكون لها مغزى. وعندما يكون الغطاء من الركام الجليدي أو من طمي النهر أو من تربة منقولة فإن علينا أن نعرف ما تحت هذا الغطاء بطريقة ما. ويجب ألا نقلل من أهمية المادة التي يخرجها الأرنب من جحره، وقد نستعمل مثقباً يدار باليد إذا كانت المادة غير متماسكة ولا تحتوي على حصى. وبواسطة هذا المثقب يمكن – في

الظروف المواتية – استخراج عينات من عمق عشرة أقدام أو أكثر. والملجأ الأخير أن نحفر خندقاً صغيراً لتحديد مواقع اتصال الطبقات، أو لإثبات وجود تكوين جيولوجي بمنتهى الدقة. والحفر الميكانيكي طريقة باهظة التكاليف إلا إذا كان هناك أمل في أن يدر فائدة اقتصادية.

وتدون جميع المعلومات التي يحصل عليها من أمثال هذه المصادر بدقة على خريطة طبوغرافية. والجيولوجيون في بريطانيا سعداء الحظ بالخرائط التي تصدرها مصلحة المساحة. والعادة أن يستعمل الباحثون الخرائط التي بمقياس ٦ بوصات للميل الواحد. وترتب هذه الدلائل معاً بحيث يطابق بعضها البعض، كما ترتب قطع أجزاء الصورة المستعملة في الألغاز للتسلية وتراجع وتختبر بكل الطرق الممكنة، ومن النادر أن يكون الحل تاماً أو منتهياً. ولا يجب اعتبار الخرائط الجيولوجية أكثر من أن تكون تفسيراً معقولاً لما بين أيدينا من الدلائل الموجودة في المنطقة؛ فإن أعمال الحفر والمعلومات الجديدة التي نحصل عليها من حفر الآبار وحتى التقدم العام في علوم الجيولوجيا. كل ذلك يقودنا حتماً إلى عمل تعديلات وتصحيحات في هذه الخرائط. وقد بدأ عمل المساحة الجيولوجية تقريباً عندما انتهت خرائط بريطانيا الجيولوجية بمقياس بوصة واحدة للميل. ولقد كانت أولى الخرائط من المجموعة القديمة غير ذات موضوع قبل البدء في المجموعة الجديدة. والكثير من هذه الخرائط الأخيرة قد أصبح الآن في حاجة إلى مراجعة نظر.

أنواع ومقاييس الخرائط التي تصدرها المساحة الجيولوجية :

إن الخريطة القياسية التي تصدرها المساحة الجيولوجية البريطانية هي خريطة "البوصة الواحدة" وفيها تمثل الجيولوجيا على أساس الخرائط المساحية بمقياس بوصة واحدة للميل. ولقد مسحت الدولة كلها جيولوجيا – في الماضى – على هذا المقياس فزودتنا بلوحات بديعة ملونة باليد من مجموعة الخرائط القديمة. والتعديل الذي يجرى الآن يزودنا بمجموعة جديدة من الخرائط المطبوعة بالألوان لمعظم أجزاء بريطانيا. وتصدر المساحة الجيولوجية – عادة – نوعين من هذه الخرائط، أحدهما خرائط تظهر الجيولوجيا الصلدة، والآخر خرائط يظهر فيها ركام الجليد الذي يغطى الكثير من المعلومات الجيولوجية ففي النوع الأول يغفل الكثير من الرواسب السطحية فيما عدا القليل مثل طمي النهر، وتظهر جيولوجية المناطق كما لو أزيلت عنها كل الغطاءات من التربة والركام والنباتات. وفي النوع الثاني تظهر الأنواع المختلفة من الرواسب السطحية مثل حصى الأنهار والأسرة النهرية وركام الجليد والرواسب المتخلفة وغيرها، وطبيعي أن مثل هذه الرواسب تخفي تحتها الكثير من الجيولوجيا الصلدة في بعض المناطق. وفي الوقت الحاضر، تغطي خرائط المجموعة الجديدة معظم أجزاء بريطانيا، وعند إعادة المساحة فإن الأولوية تكون للمناطق التي توجد فيها صخور ومعادن ذات أهمية اقتصادية معروفة.

وعند تحضير خرائط المجموعة القديمة الذي بدأ منذ أكثر من قرن مضى، كان لدى مساحي الجيولوجيا الخرائط المساحية بمقياس بوصة واحدة كأساس لعملهم، وعندما حان الوقت لتحضير خرائط المجموعة الحديثة، ظهرت الخرائط المساحية بمقياس ٦ بوصات، وفي بعض الأحوال بمقياس ٢٥ بوصة للميل الواحد. وتستعمل الآن الخرائط المساحية بمقياس ٦بوصات في معظم الأحوال كأساس للمساحة الجيولوجية، وتستعمل الخرائط المساحية بمقياس ٢٥ بوصة – إن وجدت – للمساحة الجيولوجية للمناطق المعقدة تعقيداً يفوق العادة. وخرائط البوصة الواحدة من المجموعة الجديدة مصغرة من الخرائط التي رسمت في الطبيعة بمقياس ٦ بوصة. ونشر الخرائط الجيولوجية بمقياس ٦ بوصة ليس عملياً، على أنه في معظم مناطق الفحم الحجري يكون على مثل هذه الخرائط الكبيرة المقياس إقبال كاف يدعو لطبعها ونشرها.

وللأغراض الإقليمية، توجد خرائط ممتازة بمقياس ١/٤ بوصة للميل الواحد مطبوعة بالألوان، وتبين هذه الخرائط – في تفصيل أقل – جيولوجية مناطق أوسع جداً. وفي عام ١٩٤٠ صدرت الطبعة الأولى من الخرائط الجيولوجية بمقياس بوصة لكل ٢٥ ميلاً لجميع أجزاء الجزائر البريطانية وتباع بسعر شلنين للوحة الواحدة (مطبوعة بالألوان).

فائدة الخرائط الجيولوجية:

إن المقدرة على قراءة الخرائط الجيولوجية مهمة لدرجة أن التمرين عليها يكون جزءًا مهمًا من منهاج تعليم الطالب، كما أنها ضرورية جدًا

للجيولوجي الكفء؛ ذلك لأن الخريطة الجيولوجية هي أعظم وسيلة دقيقة ومختصرة لإظهار ما هو معروف عن جيولوجية أية منطقة. وهي تعطينا فكرة أولية عن اختيار واستبعاد المواقع التي يمكن فيها استغلال أنواع خاصة من الصخور مثل طين القراميط (قوالب الطوب) والأحجار وأحجار البناء وأحجار الرصف. كما تساعدنا على ترقب الطبقات التي يحتمل احتواؤها على الماء وتقدير الأعماق التي توجد عندها. وتمكننا من استنتاج هندسة ما تحت السطح لطبقة ثابتة مثل طبقة الفحم الحجري أو طبقة لخام الحديد، ولو أنه من الطبيعي أن تقدمنا في استغلال الرواسب المعدنية يصحح معلوماتنا باستمرار، بحيث تصبح أكثر دقة وفائدة في تنبؤاتنا المستقبلة.

والواقع أنه حينما يراد تحديد موقع نوع خاص من الصخور، أو التنبوء بطبيعة أي صخر في الأعماق أو استنتاج التركيب الجيولوجي لأية منطقة لأي غرض من الأغراض، فإن الخريطة الجيولوجية هي المرجع الأول الذي نلجأ إليه. وقد يكون من الضروري في معظم الأحوال القيام بأعمال إضافية قبل إعطاء أية توصية للعمل. على أنه يمكن تضييق مدى هذه الأبحاث اللازمة إذا ما استفدنا من كل المعلومات التي تحتوي عليها الخرائط الجيولوجية الحديثة استفادة كاملة.

الجزء الثاني

الفصل السادس

جيولوجية موارد المياه

هطول المطر – التبخر والماء الجاري على سطح الأرض – الصخور المسامية والنفاذية – منسوب سطح الماء الأرضي – الينابيع والأنهار الصغيرة – الآبار الارتوازية – الآبار المستغلة بالمضخات ومخروط الاستهلاك – التلوث.

يختفي هطول المطر على أي منطقة من الأرض، إذ يسيل جزء من الماء على سطح الأرض وينفذ جزء منه إلى باطن الأرض بالرشح. ويساهم الماء المنحدر بطريقة مباشرة في تغذية الجداول والأنهار كما يعاني فقداً مستمراً بالتبخر. وقد ينفذ الماء من باطن الأرض إلى سطحها ثانية عند المناسيب المنخفضة على هيئة ينابيع تغذي مجموعة المياه السطحية. وتمتص النباتات الجزء الأكبر من الماء الأرضي وهي تفقده بالنتح. غير أن بعضاً منه يخزن في الصخور.

ويقدر – على وجه التقريب – أن ثلث ماء المطر ينحدر على سطح الأرض وثلثه يغور في باطن الأرض وثلثه يفقد بالتبخر، وذلك في الأراضي المنخفضة في المناطق المعتدلة الرطبة. وتتضمن مشاكل موارد

المياه حفظ الموارد السطحية في خزانات. وقد يقوم الجيولوجي بمساعدة مهندس المياه في تحديد مواقع سدود الخزانات ووضعها على أساس ثابت، ولكن الغالب أن يطلب إلى الجيولوجي المساعدة فيما له علاقة بموارد المياه الأرضية، وستكون هذه فقط موضع اعتبارنا في هذا الفصل من الكتاب.

ويغور الماء في الأرض بسبب قابلية بعض أنواع الصخور لنفوذ الماء. وبناء على ذلك؛ كانت هذه القابلية هي العامل الأول الجدير بالاعتبار في مسألة مورد المياه الأرضية. والصخر القابل لنفوذ الماء قد يكون مسامياً أو مفتوحاً أو كلاهما معاً.

ويطلق الاصطلاح "مسامي" على الصخور أمثال الأحجار الرملية التي تحمل الماء أو تدعه يمر خلال مادتها. والعوامل الرئيسية التي تؤثر في المسامية هي حجم وشكل الحبات وتدرج حجم الحبيبات أي الفرز، وكمية وتوزيع المادة التي تتماسك بها الحبات. والصخر الخشن الحبيبات – نسبياً – المكون من حبيبات مستديرة تربطها كمية قليلة من مادة التماسك، يحتوي على أكبر كمية من الماء. بينما تكون الحبيبات الحادة الزوايا أكثر اندماجاً وتكون المسافات البينية بها قليلة نسبياً. ويحتوي الصخر المكون من حبيبات غير متدرجة وغير مفروزة على مسافات بينية كثيرة، غير أنها تكون مملوءة بالرواسب الدقيقة. ومن الواضح أن الصخر الذي تملؤه مادة التماسك يفقد الكثير من الفراغ الأصلي. ولحجم الحبة علاقة بالموضوع ولكن في ناحية أخرى مختلفة؛

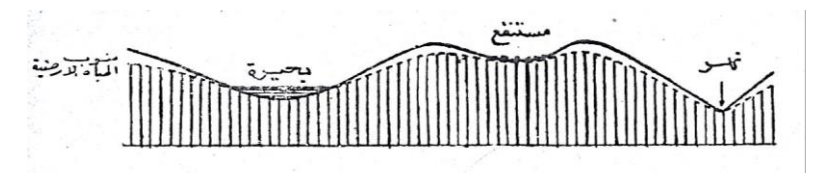
فقد يكون الصخر الدقيق الحبيبات مسامياً لدرجة كبيرة، ولكن الماء الموجود به يكون في أنابيب شعرية وبذلك يصعب استخراجه. وزيادة على ذلك فإن المعادن التي يتكون منها معظم الصخور الدقيقة الحبيبات تجعل من هذه الصخور نوعاً يمكن تسميته "بالصخور الندية" مثل الطين. فللطين الجاف مسامية عظيمة، ولكن مسامه صغيرة جداً. فإذا ما بلل الطين فإن الماء يملأ جميع المسام ويحتجز برباط كيميائي ضعيف مع الطين الغروي ويصبح الصخر غير نفاذ للماء.

والصخر المفتوح هو الصخر الذي يحتوي على شروخ وشقوق مفتوحة يمكنها أن تحتوي على الماء، حتى ولو كان الصخر نفسه متماسكاً كأي صخر ناري مثالي، أو كأي راسب حبيباته متماسكة تماسكاً تاماً لدرجة تجعله غير مسامي. وقد يتسبب في تشقق مثل هذا الصخر الفواصل وسطوح الطبقات والفوالق ومناطق التهشيم فتجعل منه صخراً يسمح بنفاذ الماء.

ولقد سبق أن ذكرنا (في الفصل الثاني) أن سطوح الفواصل تكون مغلقة في الأعماق، وأنها إنما تظهر وكأنها مفتوحة قرب السطح لزوال الضغط بسبب تعرية ما فوقها من حمل. وهذا صحيح أيضاً بالنسبة إلى المسامية، فإن حبات المعادن غير القوية تتهشم عند الأعماق الكبيرة وتملأ المسام، فالحجر الرملي الطيني – مثلاً – الذي تتراوح مساميته بين ٢٠%، ٣٠% عند السطح قد تنعدم مساميته عند عمق ١٠ أو

١٥ ميلاً، وعلى هذا فلا يمكن للماء أن يغور إلى باطن الأرض إلى ما لا نهاية، لأن هناك حداً يفرضه سد الشروخ والمسام في الأعماق.

وليست مياه الأمطار التي ترشح إلى باطن الأرض هي المصدر الوحيد للمياه الأرضية، ولو أنها ربما كانت المصدر الرئيسي. فبالإضافة إلى هذه المياه المعروفة "بالمياه السماوية"، يتعرف الجيولوجيون على نوعين آخرين "مياه الترسيب" و"المياه النارية". فالنوع الأول عبارة عن المياه التي كانت تملأ في الأصل مسام الصخر عند ترسيبه ولم تخرج منها فيما بعد، وهي في الواقع مياه البحر الأصلي الذي تراكمت فيه الرواسب. وملوحة بعض المياه الأرضية ترجع إلى هذا السبب، ولكن ولا شك ربما كانت هذه الملوحة نتيجة لتسرب مياه البحر في بعض الأحوال في الوقت الحاضر عن طريق صخور ينفذ فيها الماء، وربما كانت هناك أسباب أخرى لهذه الملوحة. والنوع الثاني هو المياه النارية، عبارة عن المياه التي تنبعث من الصخور النارية المصهورة عندما تبرد وهذه المياه – بطبيعة الحال – لم تصل إلى سطح الأرض قط ولم تلامس الجو على الإطلاق. ولقد ترسبت معظم عروق المعادن من محاليل من المياه النارية الصاعدة.



(شكل ٢٤)

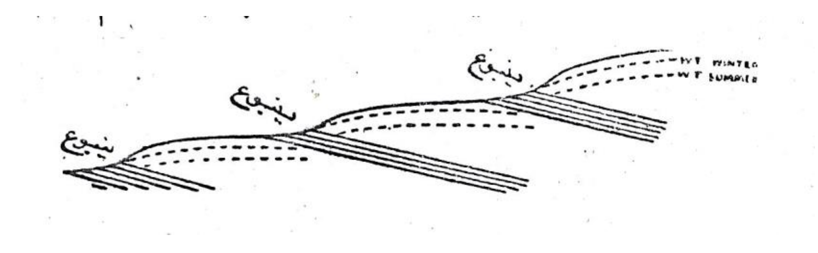
رسم كروكي يبين العلاقة بين مناسيب سطح الأرض ومنسوب المياه الأرضية في صخر متجانس نفاذ للماء.

فنحن نرى، إذن، أن الصخور الندية مثل الطين تصبح غير نفاذة للماء، وأن الصخور النفاذة للماء تشبع به إلى أدنى حد للمسامية، كما تملأ الشقوق بدخول المياه السطحية من أعلى، ولكن الحد الأعلى للتشبع بالماء ليس هو سطح الأرض نفسه، وذلك بسبب التبخر وسريان المياه الأرضية، ولكنه خط مواز لسطح الأرض، غير أنه أقل انحناء منه، ويعرف باسم "منسوب المياه الأرضية" (شكل ٢٤) فهو يرتفع أسفل التلال وينخفض عند مجاري المياه السطحية. وتحدد سرعة المياه الأرضية وكميتها ميل منسوب المياه الأرضية. وتتوقف هذه السرعة على الخاصية الشعرية وبالتالي على المسامية والنفاذية معاً، وخاصة قد تصل درجة انحدار منسوب المياه الأرضية في بعض الصخور الدقيقة الحبيبات على مقاييس الفواصل المفتوحة إلى ١ في ٢٠، والغالب أن يكون انحدار هذا المنسوب ١ في ٤٠ أو ١ في ٥٠.

أما في الصخور الجيرية الصماء فإن انحداراً قدره ١ في ٢٠٠ يعتبر انحداراً شديداً. وزيادة على ذلك، فإن منسوب المياه الأرضية يتذبذب في كل مكان، فيرتفع عقب الأمطار الغزيرة وينخفض في فترة الجفاف الطويلة إلى أن يرتفع ثانية في فترة الأمطار التالية. وحيثما يتقاطع منسوب المياه الأرضية مع سطح الأرض تنشع المياه عند هذا التقاطع. وهناك توازن دقيق بين منسوب المياه الأرضية مع منسوب سطح الأرض. وفي المناخ المعتدل الممطر، يتفق منسوب المياه الأرضية مع منسوب سطح الأرض على امتداد قاع الوديان، وبهذا يضاف بعض المياه الأرضية إلى مياه النهر على امتداد مجراه. فإذا كان قاع الوادي

مرتفعاً عن منسوب المياه الأرضية في وقت الصيف، فإن صرف المياه يجري تحت الأرض ويجف الوادي إلى أن يحين وقت الأمطار الموسمية، ويتوقف التبخر في فترة الشتاء فتتشبع الأرض بالماء ويرتفع منسوب المياه الأرضية وتعود الأنهار الصغيرة التي تجف من وقت لآخر إلى الجريان من جديد.

والعادة أن تكون الأمور أكثر تعقيداً من ذلك في المناطق، وذلك بسبب تعاقب طبقات الصخور النفاذة وغير النفاذة ولوجود الانثناءات وخطوط الفوالق. فطبقات الصخور غير النفاذة تفوق سريان المياه الأرضية وتفصل الطبقات الحاملة للمياه بعضها عن بعض، وبذا يكون لكل طبقة نفاذة منسوب المياه الأرضي الخاص بها (شكل رقم ٢٥).



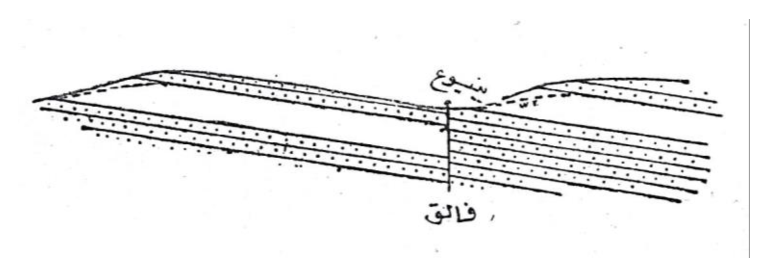
(شكل ٢٥)

رسم كروكي يبين تأثير الطبقات غير المسامية (مظللة) على منسوب المياه الأرضية، وتكوين الينابيع المتقطعة.

وطبقات الصخور غير النفاذة عبارة عن أوعية تحتجز المياه التي تأتي من الطبقات العليا. وإذا كانت مصادر المياه جانبية فإن هذه الطبقات تكون بمثابة سقف أو غطاء لهذه المياه المندفعة من طريقها من

أسفل إلى أعلى. وبسبب بروز مثل هذه الطبقات توجد مجموعة من الينابيع المتقطعة على امتداد سفوح الجبال، حيث تخرج المياه – في موسم الأمطار – عند اتصال الطبقات النفاذة بالطبقات غير النفاذة.

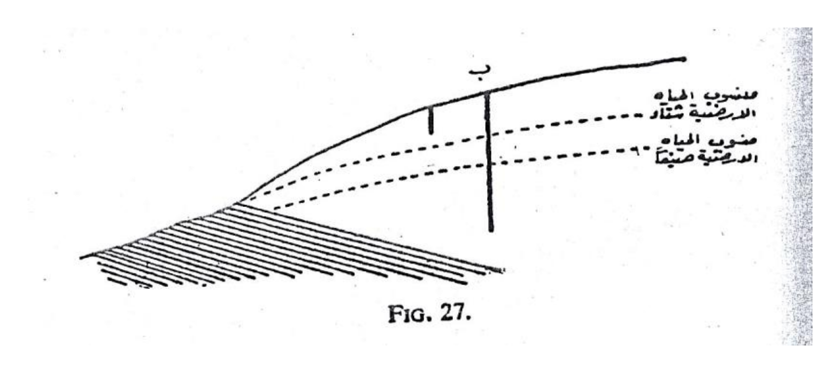
وتؤثر الفوالق – عادة – على منسوب المياه الأرضية، فقد توقف أو تحول سريان المياه وقد تساعد على وجود مخرج للمياه الأرضية لا يتيسر وجوده بغير الفوالق. وعلى هذا فالفوالق هي السبب الأعم لتحديد مواقع الينابيع الدائمة ذات المياه الغزيرة والتي لا تتأثر بالذبذبة الموسمية لمنسوب المياه الأرضية (شكل رقم ٢٦).



(شكل رقم ٢٦)

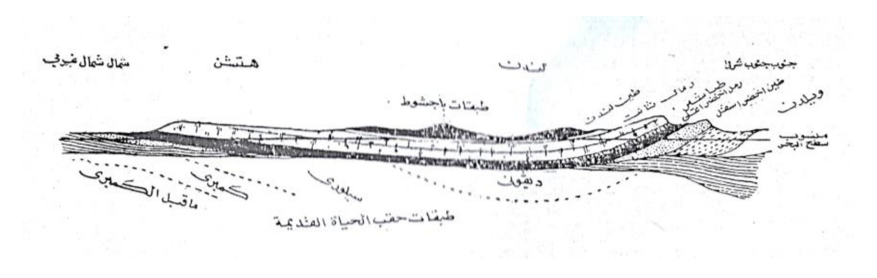
رسم كروكي يبين تأثير الفوالق في انبثاق مورد ماء أرضي (نظراً لوجود الضغط المائي تكون الينابيع دائمة)

وعندما تستخدم المياه الأرضية في سد حاجات الإنسان، توضع الآبار تحت رقابة محكمة. وقد تحفر بعض آبار صغيرة للأكواخ لعمق بضعة أقدام فقط كي تقطع مورداً محدوداً من المياه السطحية قبل الوصول إلى منسوب المياه الأرضية التي تجري عادة في فواصل وشقوق، فهي بذلك غير مرشحة وغير مأمونة. ويقل خطر التلوث كما يمكن الحصول على مورد مستمر من الماء إذا حفرت البئر إلى عمق ينخفض عن أوطى منسوب للمياه الأرضية. (شكل ٢٧)



(شكل ٢٧)

يقع البئر (أ) فوق منسوب سطح المياه الأرضية حتى في فصل الشتاء، ولو أنه قد يمكن الحصول على كمية محدودة من المياه من هذا البئر عن طريق الفواصل الموجودة في الصخر، إلا أن هذه الكمية تكون غير مؤكدة ومعرضة للتلوث. أما البئر (ب) الذي حفر إلى ما دون منسوب المياه الأرضية في فصل الصيف، فإنه يعطي كميات دائمة من مياه مرشحة.



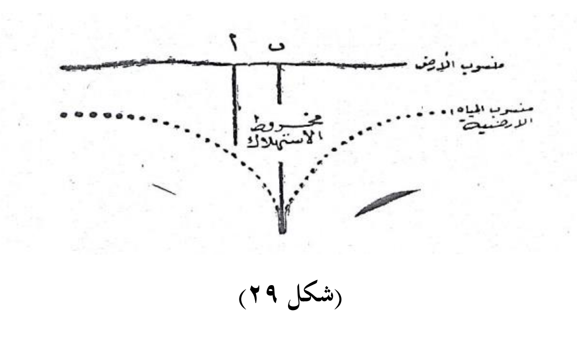
(شكل ٢٨)

قطاع جيولوجي عبر حوض لندن "منقول ومبسط من تقرير المساحة الجيولوجية "موارد المياه لبلدية لندن". تكون طبقات الصلصال غير النفاذة (صلصال لندن وجولت) الغطاءين الأعلى والأسفل على التوالي، وهي تظهر سوداء في المجموعة الارتوازية الأصلية. يبلغ طول القطاع حوالي ٧٠ ميلاً، والمقياس الرأسي مكبر سبع مرات، ولهذا فإن ميل الطبقات غير حقيقي.

وتوجد أحسن مواقع للآبار في حوض مقعر تتعاقب فيه الطبقات المسامية وغير المسامية (شكل ٢٨) وحينما يكون الغطاء غير النفاذ من الطين الصفحي أو من الصلصال اللين ويكون الصخر الحامل للمياه من الحجر الرملي أو الحجر الجيري الذي يقاوم عوامل التعرية – وكثيراً ما يحدث ذلك – فالمرجح أن يكون منسوب سطح المياه الأرضية عند حافة الحوض أعلى من منسوب سطح الأرض في وسطه بدرجة تكفي لإحداث ضغط مائي، فتتدفق مياه البئر دون استعمال مضخة للسحب، ومثل هذا البئر يعرف "بالبئر الارتوازي". والظروف المحيطة بحوض لندن ظروف ارتوازية مثالية، إذ تنحصر طبقات الطباشير والطبقات الرملية من التكوين الأيوسيني الأسفل بين صلصال "لندن" من أعلى وصلصال "جولت" من أسفل.

وقد أمكن الحصول على كميات كبيرة من المياه في مواقع كثيرة منذ أن عرف هذا المورد الأرضي للمياه، منذ حوالي قرن من السنين، لكي يعزز موارد مياه لندن السطحية. وقد سحبت كميات كبيرة من مياه هذه الآبار لسد حاجة هذه المدينة، لدرجة أن ضغط الماء في المنطقة الوسطى للحوض قد انخفض عن منسوب سطح الأرض بمقدار بضع مئات من الأقدام، وأصبحت الآبار المسجلة في عام ١٩٣٧ وعددها ٩٠٠ بئرا تعطي أقل من ١/٨ كمية المياه المستعملة في لندن. (تخصص بلدية لندن أكثر من ٣٠ جالوناً من الماء لكل فرد يومياً وعدد سكان لندن حوالي ثمانية ملايين نسمة).

إذا ما سحبت مياه بئر بشكل مستمر، فإن معدل سريان الماء في الصخور يكون عادة غير كافٍ لبقاء منسوب الماء في البئر وفيما حوله على حالته الأصلية، وبذلك ينخفض منسوب سطح المياه الأرضية حول البئر إلى أن يصبح هناك ضغط كافٍ خلف هذا الانحدار الزائد لإعادة الاتزان واستمرار السريان المطلوب. وبهذا يتكون منخفض مخروطي الشكل تقريباً في منسوب المياه الأرضية حول البئر (شكل ٢٩) يعرف "بمخروط الاستهلاك". وقد يحدث، عندما تسحب كميات كبيرة من الماء من بئر عميقة، أن تصبح آباراً صغيرة داخل مخروط الاستهلاك، وتصفى هذه الآبار الصغيرة وتجف وفي هذه الحالة يضطر إلى تركها أو تعميقها.

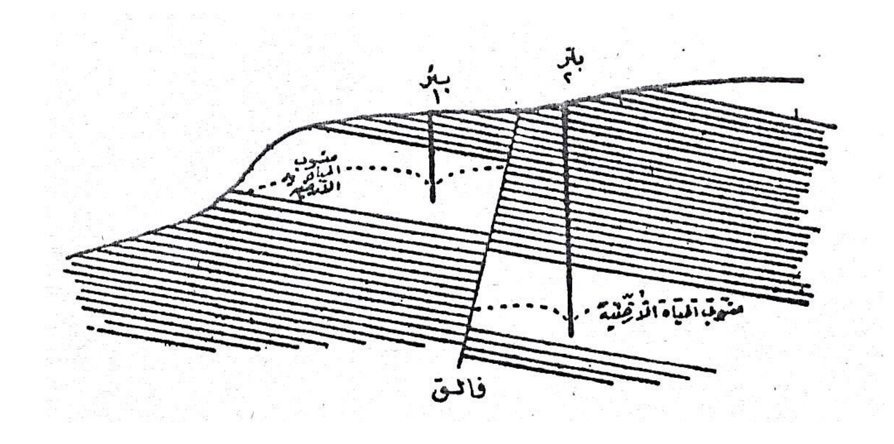


(شكل ٢٩)

مخروط الاستهلاك حول بئر عميق (ب) يسحب كمية كبيرة من الماء. هذا ويلاحظ أن مورد البئر المجاورة (أ) قد انقطع الآن، وكان البئر قد حفر إلى عمق أوطى من منسوب المياه الأرضية في هذه المنطقة.

وعلى هذا فمن الضروري لأي مورد مياه أرضي جيد أن يكون هناك صخر مناسب يحمل المياه، وتركيب جيولوجي مناسب، ورقعة كافية من بروز الطبقة الحاملة للمياه في منطقة تسقط فيها الأمطار بشكل مرض.

والمقصود بالصخر المناسب الحامل للمياه، أن يكون نفاذاً يسمح بمرور كمية المياه المطلوبة، فإذا كان الصخر مشققاً بالإضافة إلى مساميته، فإن هذا سوف يسهل كثيراً في عملية استخراج المياه. كما يساعد على استغلالها من منطقة أوسع. أما المقصود بالتركيب الجيولوجي المناسب، فهو التركيب الذي يزودنا بحجم مناسب من صخر مسامي محصور بين طبقتين غير مساميتين. والتركيب الجيولوجي المبين في (الشكل ٣٠) غير مرض.



(شكل ٣٠)

أمثلة لمواقع غير مناسبة للآبار:

فالمنطقة المعرضة لسقوط الأمطار من الصخر الحامل للمياه صغيرة بالنسبة إلى الموقع و ١ مستودع الماء غير كافٍ. أما بالنسبة إلى الموقع و ٢ فإن البئر سوف يصل إلى الماء عند إتمام حفرها. ولكن يلاحظ أن الصخر الحامل للمياه ليس له منطقة مفتوحة تسقط فوقها الأمطار، كما أن

الفالق يسد الفاصل لوجود الصلصال مقابل الصلصال، وبهذا لا يمكن الاحتفاظ بهذا المورد من الماء - مهما كانت مسامية الصخر- بسبب أن مستودع المياه عنده لا يكفي سوى مورد صغير من الماء. وأخيراً، وبالإشارة إلى المناطق التي تسقط فوقها الأمطار، فقد تكون صخور عديدة مناسبة في نواحي أخرى، ولكنها لا تحتوي إلا القليل من الماء، وقد لا تحتويه إطلاقاً بسبب أن معظم بروز طبقاتها مغطى بطبقة سطحية غير مسامية (مثل طين الجلاميد)، فتجري مياه الأمطار فوق السطح دون أن تصل إلى هذه الصخور.

ويغلب أن تتلوث مياه الآبار عندما ينخفض مستوى الماء الأرضي، بدرجة أن جميع مياه الأمطار التي تسقط فوق المنطقة تدخل باطن الأرض بسرعة وتصل إلى مواقع الآبار مباشرة. وفي أي منطقة لا يضطرب فيها التوازن المائي بالعوامل غير الطبيعية، يوجد سريان محسوس من المياه العذبة في اتجاه البحر على امتداد قيعان الوديان ومصاب الأنهار، وهذا عبارة عن رشح المياه الأرضية إلى مجموعة المياه السطحية. فإذا انخفض منسوب المياه الأرضية بسبب السحب بالطلمبات، فإن اتجاه الماء سوف يختل، وقد تعود مياه الأنهار فتملأ مسام الصخر بالرشح إليه.

وتتركز المساكن في مثل وديان هذه الأنهار، كما يغلب أن تتراكم فيها الفضلات الصناعية والمواد العضوية المتحللة نتيجة لذلك، وفي مثل هذه المناطق المنخفضة تتلوث مياه الأنهار والمياه السطحية الأخرى، فإذا ما سنحت الفرصة لهذه المياه بأن تعود إلى باطن الأرض بدلاً من أن تسيل على السطح، فإن خطر تلوث مورد المياه يصبح أمراً بالغ الخطورة.

وإذا ما سحب أي فرد مياه الآبار بشدة زائدة، فقد يكون لذلك أثر بالغ المدى على آبار الأفراد الآخرين، كما يكون له أثر سيء على مورد مياه الفرد نفسه. وذلك بسبب انخفاض منسوب المياه الأرضية في منطقة واسعة. ومن المستحسن أن تبطن جدران الآبار بالأسمنت أو بمواسير من الصلب حتى رأس مخروط الاستهلاك، وبهذا يمتنع دخول مياه الصرف السطحية، ويكون من المؤكد أن المياه المسحوبة أخذت من أسفل منسوب المياه الأرضية. وبمثل هذه الاحتياطات يقل خطر تلوث المياه.

ولقد كان من نتائج انخفاض منسوب المياه الأرضية في "حوض لندن"، أنه أصبح من الممكن دخول مياه الصرف الملوثة ومياه الخليج عند مصب النهر إلى الشقوق الموجودة في صخر الطباشير، من مناطق يغطي فيها الحصى والطمي مباشرة الصخور المسامية من التكوين الأيوسيني والتكوين الطباشيري. ولقد كان سريان المياه في كل هذه المواقع – أصلاً – من الجبال إلى ناحية البحر، ولا تظهر مثل هذه المشكلة الطارئة، وهي دخول مياه الصرف، إلا إذا انخفض منسوب سطح المياه الأرضية انخفاضاً شديداً. كما أن الآبار المهجورة أو غير المستعملة والتي يغلب أن تملأها الفضلات مصدر آخر يسبب جزع السلطات المختصة فيما حول لندن وفي غيرها من الأماكن.

الفصل السابع

الجيولوجيا وأنواع التربة

أصل أنواع التربة – الطقس يتحكم في التجوية – أنواع التربة في المناطق الرطبة – أنواع التربة في شبه القاحلة – أنواع التربة في المناطق القاحلة.

سبق أن ذكرنا تجوية وبلى الصخور على سطح الأرض في المناطق المعتدلة عند بحث منشأ الرواسب، وأيضاً عند بحث تكوين التضاريس الأرضية المختلفة. وهناك ناحية أخرى يهملها الكثير من الجيولوجيين، وهي تأثير التجوية على أنواع التربة.

والتربة عبارة عن خليط معقد من نتاج فضلات الصخور مع كميات مختلفة من مواد عضوية حية كانت أو ميتة. وتكون التربة الطبقة الخارجية أو الغلاف الخارجي للقشرة الأرضية حيث تتصل الصخور السطحية – مهما كان نوعها وطبيعتها – اتصالاً مستمراً بالغلاف الجوي، وفيه أيضاً – نتيجة لهذا الاتصال – تقوم عمليات الانحلال الكيميائي والتفتت الميكانيكي بإتمام تفاعلاتها أو – على أقل تقدير – بإظهار أقصى مفعولها. والتربة أيضاً، هي محل التقاء العالم العضوي بالعالم غير العضوي؛ إذ تختلط فيها فضلات الصخور وفتات المعادن مع البقايا

المتحللة من النباتات والحيوانات مع كثرة من الكائنات الحية من الديدان الأرضية والحشرات وجذور النباتات الحية وملايين الملايين من البكتيريا. إن الإفرازات الكيميائية للكائنات الحية وكذلك النتاج الكيميائي للانحلال العضوي يؤثران في عملية تحلل الصخور إلى درجة لم تقدر تماماً حتى الآن. وإنه لمن الواضح أن طبيعة التربة تقوم على عدد كبير جداً من العوامل – الكيميائية والجيولوجية والأحيائية – ويتحكم فيها الطقس إلى حد كبير.

وهناك نوعان من عوامل التعرية للمساحات الأرضية الشاسعة. أولهما تكوين التربة، وثانيهما إزالة التربة، وقد يتغلب أحدهما على الآخر، وقد يكونان في حالة تعادل. وقد تنقل فضلات الصخور بمجرد انفصالها بواسطة ثقلها النوعي أو بانحدارها على سفوح الجبال أو بواسطة المياه الجارية أو الرياح، وتصبح سطوح التضاريس الأرضية الحديثة والهضاب التي اكتسحتها الرياح صخوراً عارية، إلا إذا ساعد المناخ على نمو نباتات كافية تثبت طبقة التربة. وقد ينشأ عن إزالة النباتات الموجودة دون تغير في المناخ، كما يحدث عند قطع أشجار الغابات دون حساب – فقدان الكثير من التربة. وقد تزيل طبقة من الجليد – مثل طبقة الجليد التي غطت نصف الكرة الشمالي في أثناء عصر الجليد العظيم – التربة من منطقة بأكملها إزالة تامة. على أنه في معظم المناطق يوجد تعادل بين تكوين التربة وإزالتها بسبب الغطاء الواقي من النباتات، حتى أن التربة تتحرك في بطء شديد على سفح الجبل ويستمر بذلك بقاؤها.

وتتضمن عملية بلى الصخور تحطيم معادن الصخور النارية المكونة من سليكات مركبة عند درجات حرارة عالية. وفي أثناء عملية تأين وتفحم الفلسبار والمعادن المغنيسية – الحديدية، لا بد أن تذوب بعض المواد وتنقل بعيداً، أما ما يتبقى فالغالب أن يحتوي على غذاء للنباتات ويكون المادة الخام للتربة. ويختلف ما ينقل من المواد وما يتبقى باختلاف درجة الحرارة وكمية المياه الأرضية المتحركة، وهذه بدورها تتوقف على المناخ إلى درجة كبيرة. وفي المراحل الأولى للتجوية وفي المناخ المعتدل، تتحكم طبيعة الصخر المتحلل في خواص التربة الناتجة، على أنه تحت ظروف جوية شديدة قد تسير التفاعلات إلى مدى بعيد، بحيث لا يكاد يكون لطبيعة الصخر المتحلل أي أثر على التربة الناتجة.

أنواع التربة في المناطق الرطبة: نجد في المناطق التي تزيد فيها كمية سقوط المطر عن التبخر طوال العام، أن المواد الناتجة من تحلل الصخر والقابلة للذوبان تنقلها مياه الأمطار في محاليل، وتبقى التربة وبها من بعض المركبات الكيميائية كميات تقل عن الموجود منها في الصخر الأصلي المتحلل. وفيما يلي بعض أنواع التربة المهمة المكونة تحت مثل هذه الظروف:

التربة الحمضية: وهي أنواع من التربة لونها أبيض إلى رمادي فاتح، وتحتوي غالباً على السيليكا وبعض سيليكات الألومنيوم. وتوجد هذه الأنواع في المناطق ذات المناخ البارد أو المعتدل المائل للبرودة، وفيها

يكون معدل التحلل البكتيريولوجي غير كافٍ لإبادة الدبال المختلط ببقايا النباتات؛ ولذلك فإن الأحماض الموجودة تعادل الكربونات القلوية الناتجة من تأين معادن السيليكات. يضاف إلى ذلك أن عملية الذوبان كانت من الشدة بحيث لم يبق في الطبقة العليا من التربة سوى القليل من معدن المرو (للكوارتز) الأصلي. أما جميع المواد المتأنية الناتجة من تجوية المعادن فإنها تنقل إلى الطبقات السفلى من التربة، وفيها تتركز معادن الطين الغروية وهيدروكسيد الحديد والدبال. وغالباً ما يترسب مرة أخرى هيدروكسيد الحديديك – الذي يبقى مذاباً عند وجود الدبال – فيما بين طبقتي التربة وما تحت التربة على هيئة طبقة حديدية صلبة. ومثل هذه الأنواع من التربة – التي تغطي مساحات شاسعة في روسيا وشمالي أوروبا وكندا والجزء الشمالي الشرقي من الولايات المتحدة الأمريكية – تنقصها كلية الأملاح المغذية، ولذلك لا ينمو فيها إلا القليل من النباتات. والنباتات الرئيسية التي تنمو في مثل هذه المناطق هي المخروطيات وأشجار البتولا ونبات الخلنج، وهي النباتات التي تحتاج إلى كميات صغيرة جداً من الأملاح المعدنية.

الأراضي البنية اللون: يغطي الجزء الأكبر من شمال غربي أوروبا والجزء الشرقي من الولايات المتحدة الأمريكية نوع من التربة الطفلية بنية اللون، تحتوي على كثير من الصلصال، ويعزى لونها إلى أكسيد الحديديك وإلى الدبال، وتصلح هذه التربة لنمو الغابات المتساقطة الأوراق (أي ذات الأشجار التي تسقط أوراقها في أوقات معينة) وللزراعة المختلطة. والأنواع القديمة من هذه التربة لا تحتوي على كربونات

الكالسيوم وتنقصها القلويات إلى حد ما، ولكن لم تحدث فيها عملية الإذابة لحد كبير. فإذا ما زرعت مثل هذه التربة فإنه يعوض عن نقص الكالسيوم بها بإضافة الجير إليها بصفة دورية، ويعطيها السماد أملاحاً ومواد عضوية أخرى ضرورية لتحسين غلة المحصول.

اللاتبريت: وهو اسم يطلق على نوع من الطين الأحمر أو البني الذي يتكون نتيجة لعوامل التجوية في مناطق تجتاحها الرياح الموسمية الشديدة في الجهات شبه الاستوائية. وقد وصفت لأول مرة في الهند، حيث كانت تستعمل في تغطية سطوح الطرق وفي صناعة الطوب، ويشتق اسمها من الكلمة اللاتينية "لاتير" ومعناها "الطوبة". وحينما تكون مبتلة حديثة الاستخراج تبدو لينة، ويمكن قطعها على هيئة كتل أو قوالب طوب، وتتصلب – عند تعرضها للهواء – بدرجة تسمح باستعمالها في البناء مباشرة.

وتحت ظروف المناخ الحار الممطر، يزيل التحلل البكتيريولوجي السريع المواد العضوية المتحللة، فلا تتراكم الأحماض العضوية لتعادل الأملاح القلوية التي تتنتج من تأين السيليكات. وعلى ذلك فإن محاليل الكربونات تذيب حبات المرو (الكوارتز) والسيليكات كلية. ويرى بعض المختصين أن الفعل البكتيريولوجي المباشر عامل مهم في هذه العملية. وعلى أي حال، فإن المادة المتخلفة (وهي التربة) تتركب غالباً من الأكاسيد المائية للحديد ونادراً من الألومنيوم والمنجنيز.

وتتكون مثل هذه الرواسب من تحلل أنواع عديدة من الصخور، نارية ومتحولة وحتى راسبة. ويندر أن تكون الأكاسيد المائية الناتجة نقية. وتحتوي معظم أنواع اللاتيريت على كميات كبيرة من مركبات السيليكا، مما يشير إلى بقاء نسبة لا بأس بها من معادن الطين التي تجانس الكاولين والسرينتين، بينما تكاد أن تكون القلويات قد أزيلت تماماً.

وقد استعملت اللاتيريت كخام من خامات الحديد عندما تكون نسبة الحديد بها مرتفعة، أما نظائرها من الأنواع التي تحتوي على الألومنيوم والمعروفة "بالبوكسيت" فلها أهمية اقتصادية كبيرة لأنها المصدر الأساسي للألومنيوم.

أنواع التربة في المناطق شبه القاحلة: في المناطق شبه القاحله تتعادل كمية سقوط المطر مع التبخر. وفي أثناء موسم الجفاف، ينعكس اتجاه سريان مياه التربة فترتفع إلى السطح – بدلاً من نزولها إلى أسفل – وهناك تتبخر وترسب ما بها من أملاح تكون قد أذابتها. وعلى هذا فإن عملية ذوبان بعض المواد وهي العملية التي تتميز بها المناطق الرطبة، لا يمكن حدوثها، وبدلاً من ذلك فإن جميع المواد القابلة للذوبان نتيجة للتجوية تبقى في التربة. وأكثر هذه المواد شيوعاً هي كربونات الكالسيوم والجبس (كبريتات الكالسيوم)، وهناك أيضاً مواد أخرى تؤثر في نوع معدن الطين فتنتج أنواعاً مشبعة بالشق القاعدي (غالباً الكالسيوم) وهي أنواع قلوية نوعاً ما.

الأرض السوداء: من هذا النوع من التربة، أهم الأراض التي تنبت الحبوب في روسيا، وتوجد أنواع مماثلة لها في شمال أمريكا وإفريقيا. ومصدر هذه التربة السوداء هي رمال "اللوس" التي تحملها الرياح، على أن أنواعاً أخرى مختلفة من الرواسب (مثل الحجر الجيري) ومن الجرانيت تكون نوعاً مماثلاً لهذه التربة تحت هذه الظروف. ويعزى اللون الداكن لهذه التربة إلى وجود نسبة عالية من المواد العضوية، وقد تبلغ هذه النسبة نحواً من ١٠%.

الأرض العسجدية: وتوجد في روسيا وشمال أمريكا في مناطق أكثر جفافاً. ويوجد بهذه التربة عقد من كربونات الكالسيوم في مواضع أقرب إلى السطح منها في التربة السوداء كما أن نسبة المادة العضوية أقل. وإذا اجتزنا هذه المناطق إلى مناطق أخرى أشد قاحلية فإن نسبة المواد العضوية تزداد في التناقص (١% أو أقل) وتأخذ أنواع التربة ألواناً باهتة – بنياً فاتحاً أو رمادياً – وفي مثل هذه الأنواع من التربة، توجد أملاح الصوديوم عادة بكميات كبيرة مع كربونات الكالسيوم والجبس، وتتراكم كلها قريباً من السطح.

أنواع التربة في المناطق القاحلة: لا يسقط المطر بانتظام في المناطق الصحراوية، ولهذا فإن التحلل الكيميائي للصخور يكاد يكون منعدماً. والتربة في مثل هذه المناطق عبارة عن رمال مفككة بعوامل ميكانيكية، تشمل حبات من المعادن وجزئيات غير متحللة من الصخور الأصلية. وغالباً ما تتشبع الصخور السطحية بالندى، وفي بعض الأحيان

يكون مستوى الماء الأرضي – الذي تغذيه مياه الأمطار العارضة – قريباً من سطح الأرض بدرجة تسمح باجتذاب المحاليل المالحة إلى السطح بالخاصية الشعرية. فإذا ما تبخر الماء، فإن الأملاح الذائبة تتبلور وتضفي على الصخور الظاهرة "طلاء الصحراء"، كما تعمل كمادة ماسكة للرمال (يغلب أن تتماسك رمال الصحراء بمادة الجبس) وتكون – في بعض الأحيان – كتلاً على هيئة عقد، وقشوراً في شكل الزهور من أملاح قلوية على سطح الأرض. ومن الطبيعي أنه لا يوجد نبات كافٍ ليزود التربة بنسبة جوهرية من الدبال.

الفصل الثامن

جيولوجية البترول

نظريات عن أصل البترول – مصدر البترول – مستودع البترول والمصائد التركيبية – الكشف الجيولوجي عن البترول – البحث الجيوفيزيكي.

البترول الخام عبارة عن مخلوط أو محلول مشترك من مركبات الكربون والأيدروجين (المواد الهيدروكربونية) الصلبة والسائلة والغازية، غالباً من مجموعة البرافين (ك م يد ٢ن+ ٢). ويشترك مع هذه المركبات كميات صغيرة – بنسب مختلفة – من المواد الكيميائية الأخرى التي يجب فصلها في معمل التكرير، ولذلك تختلف خواص وقيمة خام البترول من حقوله المختلفة. والبترول – على عكس الفحم الحجري – لا يحتفظ بأي أثر من مركباته الأصلية، وبدلاً من أن يظل في الصخور التي تكون بها فإنه ينتقل تحت تأثير الجاذبية الأرضية عائماً فوق المياه الأرضية. وعلى ذلك وبالرغم من كبير الاهتمام الذي أعطى لمسألة أصل البترول فإننا لم نتخط بعد مرحلة الحدس والتخمين.

ويعتقد الآن قلة من الجيولوجيين – إن وجدوا إطلاقاً – في النظريات غير العضوية لأصل البترول، وهي تلك النظريات التي كانت

شائعة في القرن الماضي بين الكيميائيين الذين اعتقدوا أن الماء الذي يرشح في القشرة الأرضية إلى باطن الأرض، يتحول إلى بخار يتفاعل مع مركب الكربون والحديد وغيره من المعادن، مكوناً المواد الهيدروكربونية.

وبينما يعتبر الآن المختصون أن نظرية الأصل العضوي حقيقة مؤكدة، فإن طبيعة الكائنات الحية الأصلية لا تزال موضع شك وارتياب. وربما ساهمت أنواع عديدة من الكائنات في تكوين خام البترول، ويرى الكثيرون ضرورة اشتراك كل من النباتات والحيوانات في هذا التكوين؛ فالنباتات المجهرية مثل الطحالب ذات الخلية الواحدة والدياتوميات وبقايا النبات مثل البذور والمنخربات ذات الخلية الواحدة من بين الحيوانات.. كل هذه تكون مصادر محتملة وربما، مرجحة لبعض خامات البترول. وينتشر كل من هذه الكائنات انتشاراً واسعاً منذ العصور الجيولوجية الأولى، ويغلب أن توجد بكميات ضخمة. وربما ساهمت أنواع المراتب العليا من الحيوانات البحرية في تكوين خام البترول، ولكنه برغم التجارب التي أجراها "أنجلار" وغيره في العمل لتحضير البارافين من بقايا الاسماك، فإن هذه الأنواع من الحيوانات لا تعتبر مصدراً محتملاً لخام البترول الطبيعي مثل الأنواع الدنيا من الأحياء. والواضح أن تراكم مثل هذه المواد العضوية الدقيقة المنتشرة في الطين المترسب في بطء في قاع بحر يسود فيه الركود، وفي مناطق لا هواء فيها لدرجة يمتنع فيها التحلل التام قبل أن تطمر الأحياء، هو الخطوة الأولى والأكثر احتمالاً في تكوين البترول.

وليس هناك دليل مباشر على التغيرات الكيميائية، والكيميائية الحيوية التي لا بد أن تكون حدثت لتحول هذه المواد العضوية إلى بترول.

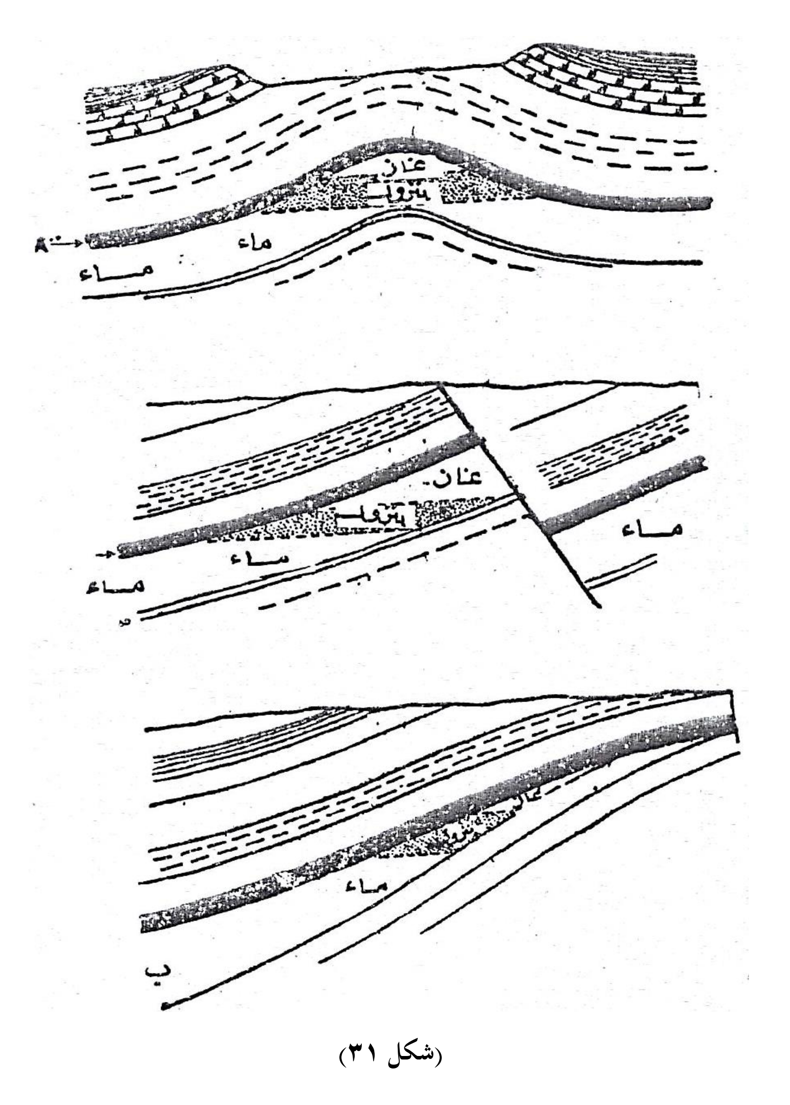
ومن المحتمل أن المراحل الأولى كانت مقترنة بفعل البكتيريا، وتستطيع البكتريا الأنوروبية (التي تحيا بدون هواء أو أكسجين) أن تكون كميات من الميثين (غاز المستنقعات) كما هو مشاهد في كثير من رواسب الطين الحديثة، ولكننا لا نعلم شيئاً عن تكوين أي مادة أخرى من المواد العليا في مجموعة البرافين. وتحلل هذه البكتريا المادة الزلالية والسليولوز، وتتخلص من معظم الأكسجين والنيتروجين وربما تكونت الأحماض الدهنية (ك ن يد ٢ن أ ٢) نتيجة لفعلها. وربما كانت المراحل الأخيرة في تكوين البترول عمليات غير عضوية ساهمت فيها – دون شك – الحرارة والضغط الناشئان عن ثقل الرواسب المتراكمة.

وعندما تتماسك صخور مصدر البترول، يطرد الماء والبترول من المسام البينية للصخر، ويبدأ البترول في الانتقال. وفي المراحل الأخيرة تلعب العوامل الطبيعية – فيما عدا الدموج الناتج عن الضغط – دوراً وخاصة التوتر السطحي (وهو أقل كثيراً للبترول عن الماء)، والثقل النوعي (فالبترول أخف من الماء وأخف كثيراً من الماء المالح)، وضغط البخار للغازات غير المذابة. وينتقل البترول من صخور المصدر – وخواصها غالباً ما تكون افتراضية – إلى الفراغ الأوسع الموجود في صخور المستودع حيث يتراكم.

وللمستودع الجيد للبترول نفس الخواص التي للصخر الجيد الحامل للمياه. فالرمال والصخور الرملية التي لها مسام بدرجة كافية، والصخور الجبرية أو صخور الدولوميت المخرمة أو المشققة بدرجة كافية، تسمح بتحرك البترول في حرية، لهي أنسب أنواع الصخور للاستغلال.

وأخيراً، فإن التركيب الجيولوجي المناسب ضروري لحفظ ولخزن البترول المتراكم، وكذا غطاء صخري يمنع تسربه، لأنه بدونهما يتسرب البترول إلى سطح الأرض ويضيع وأبسط التراكيب لتجميع البترول هو قبة أو طية محدبة، ويغلب أن يكون الغطاء الصخري من الصلصال أو الطين الصفحي غير النفاذ. وبما أن الثقل النوعي لخام البترول منخفض مما يجعله يطفو على سطح الماء، فإن التركيب الجيولوجي الذي يصلح لتراكم خام البترول والاحتفاظ به يكون على النقيض من التركيب الجيولوجي الذي يصلح لأن يكون مستودعاً جيداً للماء.

وكل من هذه الاقتضاءات الأربعة لازم لتكوين حقل بترولي يمكن استغلاله. ولا بد أن يكون خام البترول قد تكون في المصدر الصخري ثم خرج منه أساساً بسبب الدموج تحت ضغط الحمل المتزايد فوقه، ولا بد أن يكون قد انتقل في اتجاه جانبي وإلى أعلى نتيجة لثقله النوعي، إلى أن يحتجز في "مصيدة" تركيبية يتجمع فيها. وفي هذه المصيدة يكون خام البترول تحت ضغط شديد محفوظاً ومخزوناً بسبب الضغط المائي. وقد يكون الضغط – عند حفر البئر في بادئ الأمر – كافياً لخروج فيض كبير من الخام، ولكن سرعان ما يهبط هذا الفيض.



(شكل ٣١)

قطاعات كروكية تبين تجمع البترول والغاز في ثلاث "مصائد" تركيبية شائعة.

(أ) غطاء صخري غير نفاذ.

(ب) المستودع.

(منقول من "الكشف الجيوفيزيقي عن البترول" لنتلتون)

والواقع أن خام البترول يسحب إلى سطح الأرض بواسطة الطلمبات طوال الجزء الأكبر من عمر حقل البترول. وفي المراحل الأخيرة، عندما يقرب الخام من النفاذ، تبذل محاولات لاستخراجه، وذلك يخفض مقاومة الاحتكاك والخاصة الشعرية بطرق مختلفة، ويبقى جزء من الخام لا يمكن استخراجه. وفي الظروف الحاضرة، لا يمكن الحصول على الخام الذي يلتصق على هيئة غشاء فوق سطوح حبات الصخر ويغطي الفراغات البينية. ومن المسلم به أنه لا يمكن استخراج أكثر من نصف خام البترول الموجود أصلاً في المستودع، وذلك باستعمال الطرق الحالية للإنتاج.

والمهمة الأولى للجيولوجي في الكشف عن زيت البترول هي تحديد مواقع التراكيب المناسبة لمستودع زيت البترول فيما بين الصخور التي يحتمل أن تكون حاملة له. ويغلب على وجود نشع من الغازات أو السوائل أو المواد الصلبة على سطح الأرض، على أنه في الوقت الحاضر لا يعتمد كثيراً على مثل هذه العلامات كما كان الحال فيما مضى. وأكثر الغازات شيوعاً هو الغاز الطبيعي (ميثان) وكبريتور الأيدروجين (يد ٢ كب) وثاني أكسيد الكربون. ولقد كان الغاز الطبيعي مستعملاً في إضاءة محطة السكة الحديد في هيثفيلد في مقاطع سوسيكس لسنين عديدة. وتختلف العينات المكتشفة من زيت البترول اختلافاً كبيراً في مظهرها؛ فبعضها عبارة عن مزيج باهت اللون من الزيت والماء، ولكن معظمها قاتم اللون لزج أو يكاد يكون صلباً. والعادة أن يتخلف عن الزيوت الأسفلتية رواسب ثقيلة، أما الزيوت المقطرة فيتبخر

معظمها تماماً وبسرعة، وبذلك يكون من الصعب رؤيتها عند الكشف. على أن عدم وجود علامات خام البترول على سطح الأرض ليس دليلاً على عدم وجود زيت البترول، كما أن علامات خام البترول الموجودة في مساحات شاسعة قد تكون كل ما تبقى من زيت البترول. والرواسب الصلبة الموجودة على هيئة بحيرات من الزفت تكون عادة أسفلتية. وحتى في الحالات التي لا توجد فيها علامات سطحية لخام البترول، فمن المعتاد أن يغامر بالأموال الطائلة اللازمة لحفر آبار تجريبية في أي موقع يوجد به دليل على وجود تعاقب مناسب من الطبقات الرسوبية، وكذلك التركيب الجيولوجي المناسب.

وواجب الجيولوجي دائماً أن يقوم بتحضير خريطة للمنطقة المنتخبة تبين التركيب الجيولوجي بالتفصيل. وإن أي تغيير في ميل الطبقات – سواء أكان هذا التغيير في الاتجاه أو على وجه الخصوص – في المقدار له مغزى كبير، لأن من هذه الميول ومن أي علامات سطحية أخرى ترسم خرائط عليها خطوط المناسيب (وهذه الخرائط تماثل النماذج ذات المقياس الحقيقي) لكي تبين أن التركيب الجيولوجي القبوي مغلق،[1] لأن لذلك تأثيراً على مستودع خام البترول المحتمل، وكذا لاختيار نقطة عالية في القبة لموقع الحفر الاختباري. والتغيرات الطفيفة في الميل والتي لا تزيد على درجات، قد ينتج عنها فرق في مقدار "الفلق" يبلغ

[1] المقصود بكلمة مغلق هنا هو ارتفاع الجزء الأوسط من القبة عن النقطة الجانبية التي يمكن أن يتسرب منها زيت البترول.

مئات الأقدام في قبة كبيرة. وقد وصف أحد الجيولوجيين طبقات الطباشير في "حوض لندن" بعبارته الكلاسيكية "إن الميل هنا ينحدر فجأة إلى ثلاث درجات". ويصادف جيولوجيو البترول أمثال هذه الثنيات الخفيفة في كثير من المناطق.

إن المقارنة البالغة الدقة للطبقات ضرورية جداً في تحديد أمثال هذه التراكيب الجيولوجية الطفيفة، والبالغة الأهمية بالنسبة لجيولوجي البترول، وقد تتم هذه المقارنة – في بعض الأحيان – بالاستعانة بأخصائي في علم الحفريات المجهرية مثل المنخربات، التي قد يوجد منها آلاف عديدة مطمورة في عينة أخذت من الحفر سمكها بضع بوصات. أو قد تتم هذه المقارنة باستعمال الطرق الطبيعية مثل طريقة "شلبرجر"، أو المساحة الكهربائية لثقوب الحفر، وهذه الطريقة تسجل مواضع الصلصال والرمال والصخور الجيرية في الثقوب بواسطة قياس المقاومة الكهربائية أو الخواص الكهربائية الأخرى.

ولا توجد العلامات السطحية لخام البترول – حتى التركيبية منها – في كل المواقع. وقد تعلو الطبقات الحاملة للبترول – في عدم توافق – طبقات أخرى أحدث عمراً من الحركة الأرضية التي أنتجت "مصائد" خام البترول، وهذا الغطاء من الرواسب – حتى ولو كان من الطمي – يخفي تحته التراكيب الجيولوجية المراد تحديدها. وهنا مجال المختصين بالبحث الجيوفيزيقي.

ولا يجرى البحث الجيوفيزيقي وراء خام البترول مباشرة، ولكن يمكن للجيوفيزيقي – بواسطة بعض المقاييس التي ترصد عند سطح الأرض – أن يحدد في ظروف مواتية، السطوح التي تفصل بين تكاوين الصخور المختلفة التي لا يمكن رؤيتها ومنها، يفسر التركيب الجيولوجي للطبقات التي تحت السطح. وهناك ثلاث طرق جيوفيزيقية رئيسية مبنية على المقاييس الزلزالية والتناقلية والكهربائية.

والطرق الزلزالية – التي لاقت نجاحاً كبيراً في السنوات الأخيرة – تشبه سبر الغور بطريقة الصدى في الصخور بدلاً من الماء. وتشعل شحنة من البارود في ثقب يتراوح عمقه بين ١٠، ١٠٠ قدم أو يزيد، فتنعكس الأمواج الناشئة عن هذه الهزة من سطوح طبقات الصخور الصلبة المختلفة الموجودة تحت سطح الأرض، فتلتقطها مجموعة من أجهزة لالتقاط الموجات موزعة توزيعاً مناسباً، وتكبر هذه الموجات ثم تسجل بطريقة فوتوغرافية على شريط متحرك، وهذا الشريط يسجل أيضاً لحظة الانفجار بالضبط. وتحسب أعماق السطوح التي تعكس الموجات من مقادير الأوقاف التي تستغرقها الموجات، وبعد مقارنة النتائج من مجموعة من مثل هذه المقاييس، يمكن رسم خرائط ذات خطوط مناسيب تبين أعماق وشكل السطوح العاكسة للموجات.

وفي الطرق التثاقلية، يستعمل ميزان لولبي بالغ الحساسية (يطلق عليه اسم مخترعه ويعرف بميزان يوتفوس)، أو نوع آخر من مقاييس التثاقل لقياس الاختلافات الدقيقة في قوة الجذب في منطقة معلومة.

وتفسر هذه الاختلافات كيفية التوزيع المحتمل لكتلة الصخر في باطن الأرض. وبذلك يكون للطية المحدبة الكبيرة – التي تزيد كثافة وسطها على جوانبها – منطقة تثاقل متزايدة نوعاً عند سطح الأرض وفوقها مباشرة. ولكي ننوه عن دقة هذه الأجهزة والعناية والقدرة اللازمة لاستعمالها، يمكننا أن نذكر أن الفروق التي تقاس بها لا تزيد على بضعة "ملليجالات" لكل ميل، والمعروف أن الملليجال يساوي جزءًا من مليون من الجاذبية الأرضية العادية (ح) عند سطح الأرض.

ولقد استحدثت عدة طرق كهربائية، وكلها مبنية على أساس المقاييس النسبية للمقاومة الكهربائية وتأثر الصخور بالكهرباء، وبالرغم من استعمال هذه الطرق بكثرة في البحث عن المعادن، فإنها قلما تستعمل في الكشف عن حقول خام البترول، وذلك بسبب عدم وصولها إلى أعماق كافية. ولقد سبق أن ذكرنا استعمال هذه الطرق في مقارنة طبقات الصخور في الثقوب المحفورة فعلاً.

ولعله من المناسب أن نختتم هذا الشرح القصير لرسم الخرائط الجيولوجية والبحث الجيوفيزيقي للكشف عن البترول بالنبذة المقتبسة التالية لأحد مشاهير جيولوجي البترول:

"إن مخاطرات الكشف عن خام البترول معروفة جيداً لعامة المستثمرين، على أنهم قد لا يقدرون أسبابها تماماً. والواقع أنه حتى بعد إتمام دراسة أية منطقة محتملة لخام البترول بجميع الوسائل الجيولوجية

والجيوفيزيقية، فإن متوسط الأمل في نجاح الحفر الاستكشافي يجب عدم المبالغة فيه، إذ أنه – بناء على التجارب السابقة – ربما لا يتعدى واحد من عشرة. ولقد أثبتت التجارب السابقة أيضاً أنه إذا كانت الموارد المالية تحتمل الخسارة الناشئة عن الحالات التسعة الفاشلة فإن الحالة الوحيدة الناجحة قد تعطي التعويض الكافي".

الفصل التاسع

الجيولوجيا الهندسية

الأساسات – زحف وانزلاق الطبقات الأرضية – الخزانات – الأنفاق – نفق ميرزي – حجر البناء – القرميد (الطوب) – الأسمنت – اردواز التسقيف – أحجار الرصف.

إن إحدى نقط الاتصال الأولى بين الجيولوجي والمهندس تعود بنا ثانية إلى مسألة توزيع المياه الأرضية، لأن هذه المياه تلعب دوراً مهمًا في حركة أجزاء من الأرض، وذلك بإنقاص الاحتكاك بين الجزيئات أو بين الطبقات المتجاورة في تكوين غير تام التناسق. فالمياه الأرضية تعمل على تزليق جزيئات التربة على السطوح المنحدرة – الطبيعية أو الصناعية – وتسهل بذلك زحف التلال، وتمكن الأجزاء المبتلة من أن تنزلق إلى أسفل الجبل بتأثير الجاذبية على مهل أو مباغتة. وقد ترشح المياه في طبقة نفاذة للمياه وتبلل سطح طبقة طينية مائلة، لدرجة تسبب عدم توازن الطبقات الموجودة فوقها أو خلفها فتبدأ في الانزلاق.

متانة الأساسات: قد يكون من المتعذر اختيار الموقع المثالي للمنشآت الثقيلة، إذ غالباً ما تسود اعتبارات أخرى، على أنه من الممكن

اتخاذ الاحتياطات ضد أسوأ الظروف. وقد تتطلب الصخور غير المتماسكة دق الخوازيق أو إنشاء الدعائم. وقد تكون هناك صعوبات في معرفة الوقت الذي يخترق فيه الصخر الصلب، ففي بعض الحالات كانت هناك طبقات من الصلصال تتخلل الركام الجليدي، وقد اعتبرت خطأ طبقات صلبة من الطين ضمن تكوينات "الجولت" أو "اللياس" أو أحد تكوينات أخرى من حقب الحياة المتوسطة. وتختلف الصخور الطباقية اختلافاً كبيراً من حيث إمكان الاعتماد عليها في الأساسات. أما الصخور النارية والمتحولة والرملية والجبرية – وبالاختصار جميع الصخور التي لا يزيد حجمها عند تشربها الماء – فإنها تهيىء أساسات ثابتة، بينما يجب اجتناب الصلصال والطين الصفحي وخاصة طين الجلاميد بقدر الإمكان. وإذا وجد الصلصال أو الطين الصفحي تحت غطاء سميك من الرواسب السطحية وكان مشبعاً بالماء بصفة دائمة، فلربما كان له مقاومة احتكاك كافية للخوازيق، أما إذا وجد بالقرب من سطح الأرض، فإنه يكون معرضاً للبلل والجفاف الموسمي ولا يهيىء أساساً ثابتاً.

وحتى في الأماكن التي تكون فيها الأساسات على أحسنها، فقد يكون هناك خطر ترييح المنشآت نتيجة لانهيار فتحات المنجم تحت الأرض. وإذا كانت أعمال المناجم عميقة ويتقدم العمل فيها بانتظام، فإن الترييح قد يتأخر عاماً أو عامين عن التعدين، وفي هذه الحالة قد يكون الضرر خفيفاً. أما في المناجم غير العميقة، فسرعان ما تبلى الدعامات الخشبية المؤقتة، وإذا لم تكن صخور سقوف المغارات قوية بحيث

تكون بمثابة عتب فوق المغارات، فإنها تتساقط ويصل أثر ذلك إلى الصخور السطحية فتنهار مع ما فوقها من منشآت. والطريقة المتبعة عادة في استخراج الملح الصخري هي إذابته بالماء ثم سحب الماء المالح بواسطة طلمبات، وينشأ عن هذه الطريقة هبوط كلي في الطبقات على امتداد مجاري المحلول، ومثل هذا الهبوط لا يمكن تجنبه. ولقد كان هبوط كنيسة سنت بول منذ بضع سنوات نتيجة لسبب غير عادي، وهو أن المياه الأرضية قد جرفت في سريانها المواد الرفيعة من بين الرمال والحصى التي تكون الطبقات المقامة عليها الكنيسة، وكان لا بد أن تعوض هذه المواد، وقد عوضت فعلاً بنجاح وقويت الأساسات عن طريق حقنها بالأسمنت.

الزحف السطحي للطبقات وانزلاقها: قل ما تنجو المقاطع في الأرض والجسور من تأثيرات الزحف والانزلاق، إلا إذا تم صرف المياه من طبقاتها في أثناء إنشائها. وتأخذ أكوام المواد السائبة الموجودة على سطح الأرض ميلاً مستقراً بزاوية تعرف باسم "زاوية الاستقرار". وتختلف هذه الزاوية باختلاف حجم وشكل حبيبات المادة وطبيعتها ونسبة الماء الموجودة بها. ويجب – لكي يكون هناك ثبات – أن يقل ميل جوانب الجسور والمقاطع عن مقدار هذه الزاوية بدرجة محسوسة. وتكون زاوية الاستقرار أكبر للمادة الرطبة المصروف ماؤها عنها من المادة التامة البلل أو التامة الجفاف. فإذا ما تشبعت المادة بالماء فإنها تكون عرضة للانهيار والانزلاق، ويتلافى ذلك بوجه عام بإنشاء مصارف – في شكل عظم السمك – مملوءة بقطع من الأحجار الجيرية، أو بخبث الأفران

لتساعد على الصرف وخفض منسوب الماء الأرضي. وإذا كان هناك ضرورة للحوائط السائدة فإن هذه أيضاً يمكن جعلها مأمونة بعمل فتحات للصرف عند قاعدتها. ومن المستصوب زرع الأشجار والشجيرات فوق الميول المكشوفة، وقد ثبت أنه لا يمكن الاعتماد على أشجار الزان أو البتولا ذات الجذور القصيرة، بينما تصلح أشجار المخروطيات والدردار والأجاص إذا أمكن إنباتها. أما الحشائش وجذور الأشجار فإنها لا تعمل على ربط التربة وما تحت التربة فحسب، بل إنها باحتفاظها بنسبة ثابتة من الرطوبة تسبب إنقاص تغيرات حجم المواد، تلك التغيرات التي تقترن بتعاقب البلل والجفاف للتربة عند السطح.

وجدران المقاطع في الصخور الصلبة المندمجة أقل تعرضاً للانزلاق، وذلك لأن الاحتكاك الموجود بين الكتل المتجاورة يكون كافياً عادة لربطها، حتى في حالة ما يكون ميل الطبقات في اتجاه جدار المقطع. على أن الأمر يتوقف على مقدار الحفر وطبيعة الفواصل الصغيرة وحالة الصخور. وبصفة عامة، فإنه إذا كانت الأحوال الجيولوجية تشير إلى وجود طبقات نفاذة للماء، قليلة الميل، واقعة فوق صخور من الطين، ففي هذه الحالة تكون الطبقات معرضة للانزلاق عند حافة المنحدر، إذا تركت صخورها التي تم صرف مياهها دون دعامة. ومثل هذه الميول الشديدة الانحدار هي ميزة خاصة للمراحل الأولى من التعرية النهرية، حينما تحدث تعديلات جليدية لوديان النهر أو على امتداد الجروف التي قطعتها عوامل التعرية البحرية الفعالة. ويتتابع حدوث الانزلاق إلى أن تزول الارتفاعات، ويعود الاستقرار في المراحل

الطبوغرافية الأخيرة. وقد تكون الإنشاءات الهندسية أو زيادة الحمل الناشئ عن الجسور الترابية سبباً في إعادة حالات عدم الاستقرار، كما قد يكون إنشاء الأبنية السطحية الثقيلة سبباً في عدم الاستقرار. والمثل معروف "الوقاية خير من العلاج". إلا أن انزلاق الأرض ليس له علاج ناجح أكيد. ويمكن – في حالة المقاطع الصغيرة – أن يمتد القطع إلى الوراء بحيث تزال الأحمال التي يمكن أن تتحرك أو أن يتم صرف مياهها وتحفظ في أماكنها بإقامة حوائط ساندة. وتحتاج الوقاية إلى دراسة علاقات التراكيب الجيولوجية وإلى اجتناب المواقع التي يتعذر معالجتها.

خزانات موارد المياه: يتوقف اختيار مواقع الخزانات السطحية على عوامل عديدة مختلفة. وبالمملكة المتحدة الآن عدد محدود من المواقع الكبيرة لم يشملها برنامج التخطيط. ويجب القيام بثلاثة أنواع من الدراسات الابتدائية، وهي: الدراسة الطبوغرافية وسقوط الأمطار والدراسة الجيولوجية قبل اتخاذ القرار النهائي. أما مسألة بعد المواقع عن المستهلك فتؤخذ في الاعتبار في المرحلة الأولى من دراسة المشروع.

وتوضح الخرائط الطبوغرافية ذات خطوط المناسيب شكل المنطقة ومدى المساحة التي يغمرها الماء، كما تبين المواقع المحتملة لإقامة السد، وبالتالي كمية المياه التي يمكن حجزها. ويجب أن تفي هذه الكمية المحتجزة بحاجات مؤسسي المشروع وبكمية المياه اللازمة للمدن الصغيرة الواقعة على امتداد خط الأنابيب، وبالنسبة القانونية من

"مياه التعويض" لملاك الأراضي ولأصحاب الطواحين المائية الواقعة على شاطئ النهر أمام السد.

ومما يجب ذكره أيضاً، أن المساحة السطحية للخزان تحدد كمية المياه التي تفقد بالتبخر. وسوف تظهر سجلات سقوط الأمطار كمية المياه التي تسقط فوق المنطقة، على أن كمية المياه السطحية المنتظرة يمكن تقديرها على وجه التقريب، من دراسة أرصاد مقاييس النهر، وبالمقارنة بالمواقع المجاورة المماثلة. ويجب الرجوع إلى دراسة السجلات الماضية لعشرات السنين السابقة، إذ قد يكون من الضروري أن يؤخذ في الاعتبار إمكان حدوث فترة جفاف لمدة ثلاث سنوات متوالية. وستزودنا الدراسات الجيولوجية بالمعلومات فيما يتعلق بتراكيب الصخور الموجودة في قاع النهر ومساميتها وتوافقها العام، ويجب بطبيعة الحال ألا تسمح هذه الصخور بتسرب الماء. كما أنه من الأهمية بمكان معرفة مواقع سطوح الطبقات والفواصل والفوالق وغيرها من مواطن الضعف السطحية للقرب من موقع السد.

والمنطقة المثالية المجمعة للأمطار، هي عبارة عن أرض سبخة مرتفعة في منطقة جبلية مكونة من صخور صلبة مندمجة وليس بها شقوق لا أقلها. والعادة أن يكون سقوط الأمطار على مثل هذه المنطقة فوق المتوسط، وقد تزيد كمية المياه التي تجرى على السطح على ثلث كمية مياه الأمطار السنوية. وتكون مثل هذه المنطقة ضعيفة للزراعة كما تكون غير آهلة بالسكان. وبذلك تكون قيمة الموقع صغيرة ولا يتأثر سوى

عدد قليل من السكان. والغالب أن تكون الوديان في مثل هذه المناطق غير كاملة التكوين، وقد تكون متأثرة بفعل الجليد في المناطق الشمالية والغربية. وتكون هذه الوديان عميقة وضيقة نسبياً، وبذلك تكون السدود التي تقام عليها أقصر من مثيلاتها مما يقام على الوديان الأكثر اتساعاً والتي توجد في المناطق الكاملة التكوين من الناحية الطبوغرافية وذلك في المناطق الجنوبية والشرقية. وتكاد المناطق الغربية المرتفعة في بريطانيا أن تكون مكونة تماماً من تكاوين حقب الحياة القديمة الأسفل أو ما قبل الكامبري أو الصخور النارية. وفي حين أن هذه الصخور تفي أحسن من غيرها بالإحتياجات اللازمة للمياه التي تجرى فوق السطح، فهي أيضاً تهيئ أساسات صالحة لإقامة السدود وكذا المواد اللازمة لبنائها. وهناك وديان عديدة في مناطق تغطيها تكاوين حجر الطواحين الرملي والفحمي الأسفل والحجر الرملي الأحمر القديم، تصلح لإقامة السدود، وذلك بسبب قربها من مراكز مناطق الفحم الآهلة بالسكان، وهي تستعمل الآن إلى حد كبير في تجميع مياه الأمطار.

والصخور التي تخترقها هذه الوديان ليست مندمجة تماماً، ويجب مراعاة اختيار مواقع السدود بها وخاصة في الوديان الشديدة الانحدار. وهذه المواقع يجب أن تخلو – بقدر الإمكان – من انزلاق الطبقات ومن خطر الزحزحة نتيجة للضغط الجانبي لقاع الوديان.

الأنفاق: لكي نوضح تطبيق المبادئ الجيولوجية في إنشاء الأنفاق، سنستعرض الحالة الخاصة لنفق ميرزي الجديد كما سجلها المستشار

الجيولوجي للمشروع حينما اقترح إنشاء النفق عند الخط المنتخب، كان من الممكن الحصول على معلومات جيولوجية كثيرة. وقد رسمت خرائط تبين التكاوين الجيولوجية الظاهرة على جانبي نهر ميرزي، وكان هناك بيانات مقيدة عن الحفر في المناطق المجاورة. وزيادة على ذلك، فقد كانت هناك الخبرة السابقة عن نفس التكاوين التي مر بها نفق ميرزي للسكك الحديدية الذي يقع جنوبي الموقع الجديد وعلى بعد ٤٠٠ قدما منه فقط.

ويتكون شاطئ الميرزي الشرقي والغربي من الحجر الرملي من تكوين "البنتر" المتوسط، (الترياس الأسفل) والذي نفترض وجوده أيضاً تحت قاع النهر. وصخور هذا التكوين رملية صلبة يميل لونها إلى الاحمرار، وهي طباقية متكتلة تقطعها الفواصل وترتبط حباتها بمادتي السيليكا وأكسيد الحديد، وقوة احتمالها للتهشيم عالية جداً. إلا أن مسامية هذه الصخور تبلغ حوالي ١٥%، وتعتبر من الصخور المهمة الحاملة للمياه في المنطقة، ولهذا كان من المنتظر مصادفة كميات كبيرة من المياه. ومما هو جدير بالذكر أن نفق السكة الحديد الذي أنشئ دون أن تبطن جوانبه لمنع تسرب المياه إليه، تسحب منه المياه باستمرار بمعدل حوالي ٥٠٠٠ جالونا في الدقيقة وذلك منذ إنشائه.

وبما أن سمك الأحجار الرملية التابعة لتكوين البنتر المتوسط يزيد على ألف قدم، فإنه من غير المنتظر أن يخترق النفق صخور تكوين البنتر الأسفل، ولذلك لا تدخل خواص صخوره في حسابنا. ولا ينتظر أيضاً أن

يخترق النفق صخور تكوين البنتر الأعلى، وهي صخور رملية أكثر ليونة، وترتبط حباتها بمادة أكسيد الحديد إلا ما كان بعيداً عن الفالق الذي يجري من الشمال إلى الجنوب بالقرب من النفق من الناحية الشرقية. ولقد استنتج جـ. هـ. مورتون من الدراسة التفصيلية التي قام بها في عام ١٨٦٣ على الصخور الواقعة على جانبي الميرزي، وجود فالق آخر يجري من الشمال إلى الجنوب تحت نهر الميرزي ويقطع تكوين البنتر المتوسط. أما صخور تكوين الترياس فتغطيها رواسب سطحية من صلصال الجيلاميد رسبت فوق سطح غير منتظم بالمرة تكون في عصر ما قبل الجليد. ولقد كشف الحفر في المناطق المجاورة عن وجود أجزاء من مجار عميقة مدفونة – يغلب أن تنخفض حوالي ١٣٠ قدماً أو أكثر عن منسوب سطح البحر – ولقد تنبأت "ميلارد ريد" بوجود مجرى مدفون أسفل نهري ميرزي.

وتحققت هاتان النبوءتان في أثناء إنشاء نفق السكة الحديد، إذ وجد الفالق الذي يجري من الشمال إلى الجنوب على هيئة منطقة مهشمة من الصخور الرملية والطينية بسمك عشر بوصات، كما وجد قاع المجرى المدفون عند عمق حوالي مائة قدم تحت منسوب سطح البحر، مكوناً سقف النفق في مسافة تبلغ حوالي مائة ياردة. ومن حسن الحظ أن الرمال السائبة الموجودة في قاع هذا المجرى كانت مغطاة من أعلى بطبقة من طين الجلاميد، ولهذا لم تفض المياه بشكل خطير.

ونظراً لضخامة حجم النفق الجديد، (يبلغ قطره عند الحفر ٤٧ قدماً) فقد كان من الضروري حفرة كلية في الصخر الصلب، وبذلك يمكن تفادي المجرى المدفون، ليس ذلك فحسب، ولكن ليفصله عن النفق غطاء مناسب من الصخر. ولما كانت الانحدارات محددة في المواصفات، فقد حدد عمق النفق مواقع مداخله، وكان من الضروري تحديده قبل البدء في العمل. ولقد اتضح من دراسة جميع الوثائق الخاصة بالمجاري المدفونة في المنطقة – هذه المجاري التي يعتقد أنها روافد للمجرى الرئيسي المدفون تحت نهر ميرزي – أن المجرى الجليدي الرئيسي ينحدر نحو الجنوب في اتجاه مضاد لمجرى نهر ميرزي الحالي. ومن ذلك أمكن تبرير الاعتقاد بأن عمق المجرى المدفون لا يمكن أن يكون أكبر مما هو عليه عند موقع نفق السكة الحديد في الناحية الجنوبية، وقد يكون على منسوب أعلى. وبناء على هذه الأدلة حفرت الآبار الابتدائية وتدرج الحفر في الممرات الاستكشافية. وقد أوقف تسرب المياه إلى النفق تماماً، وذلك باستخدام طريقة "فرانسوا" وبواسطتها يحقن الصخر – تحت ضغط مائي – بمزيج من كبريتات الألومنيوم وسيليكات الصوديوم ثم بالأسمنت.

ولقد ظهر أن الحجر الرملي صلب لدرجة أنه كان من الضروري استخدام المفرقعات في تكسيره، إلا في المواقع القريبة من المنشأت الضخمة أو من المجرى المدفون، فقد حظر استخدامها، ولقد بقي سقف النفق سليماً ولم تسقط منه أحجار إلا نادراً. ونظرا لشدة تيار المد والجزر، فلم يكن من المستطاع دراسة مجرى النهر المدفون بواسطة

الحفر الاستكشافية في البحر. ولهذا كان اختيار الصخور الواقعة فوق أو أمام الممرات الاستكشافية يجرى بواسطة الحفر التجريبية. ولما كانت الممرات الاستكشافية السفلى متقدمة دائماً عن العليا، فقد كانت الحفر تعمل في اتجاه أفقي للأمام أو في اتجاه يميل بزوايا صغيرة إلى أعلى لمسافة تتراوح بين ٦٠ و ١٠٠ قدما. وحينما تم تحديد المجرى المدفون بواسطة الحفر الاستكشافية من الممرات السفلى، زودت الممرات العليا بدرع خاص وقائي للضغط، وأحيطت بقطاعات من الحديد الزهر.

وكان كلما أضيف جزء من هذه القطاعات تقدم الحفر الاستكشافي إلى أعلى وإلى الأمام، وبذلك أمكن تحديد مناسيب قاع المجرى من أسفل. وقد كانت الرمال الخشنة والحصى الموجودة في حوض المجرى مملوءة بالماء – كما كان الحال في نفق السكة الحديد – ولكنها كانت مغلقة من أعلى بطبقة من طين الجلاميد. ونظراً لكميات المياه الكبيرة الموجودة فإنه لم يمكن صرفها، واضطر إلى سد الحفر الاستكشافية. ولقد أعطى مقدار العمق الذي سبق تحديده السمك المطلوب من الصخر الصلب فوق سقف النفق، وتقدم الحفر دون أي زحزحة لرواسب المجرى المدفون، غير التماسكة والموجودة على بعد يسير من سقف النفق. ولم تقابل أية صعوبات في مداخل النفق، ولو أنه كان من الضروري في بعض المواقع صلب السقف بدعامات من الصلب أو الخشب بسبب وجود بعض الشقوق، وشروخ بعض الفوالق.

ومما هو جدير بالملاحظة أن تكاليف جميع الأعمال الاستكشافية – بما في ذلك حفر نحو ٦٦٠٠٠ قدما من الآبار التجريبية – كانت أقل من ٠,٢% من مجموع تكاليف إنشاء النفق.

أحجار البناء: إن كل نوع من الصخور التامة التماسك أو المتماسكة جزئياً، سواء أكانت صخور نارية أو راسبة أو متحولة، استخدم في مكان ما كحجر من أحجار البناء. ولكن بعض الخواص تجعل بعض الأنواع أكثر صلاحية لبعض الأغراض. فإلى جانب اعتبارات سطوح التقسيم أو الفواصل أو سطوح الطبقات أو التشقق فإن الخواص الضرورية هي ما يتعلق بقوة الصخر ومتانته. ويجب أن يتأكد المهندس أو المعماري من أن المواد المستعملة تتحمل الضغوط التي تتعرض لها، ليس ذلك فحسب، بل إنها تستمر كذلك بعد أن توضع في مكانها لسنين عديدة. والمتانة معناها المقاومة إلى حد المناعة من فعل التآكل بسبب الجو في المدن وخاصة الصناعية منها، أو بفعل مياه البحر وغير ذلك، أو من التأثيرات الميكانيكية الناشئة عن تغيرات درجة الحرارة، أو من فعل الصقيع. والمناعة القصوى مطلوبة، على أنه يلاحظ أن بعض عوامل التجوية الكيمائية الطفيفة اللازمة لتنعيم السطح مرغوب فيها من حيث التجميل والذوق الفني.

ولا تتوقف صلابة الصخر كثيراً على صلابة المعادن الشائعة فيه بل تتوقف أكثر على حالة تجمع الجزيئات الصغيرة الموجودة بين حبيبات هذه المعادن. فالحجر الرملي الضعيف التماسك قد يكون هشاً بحيث

يمكن تفتيته بين أصابع اليد، في حين أن الحجر الجيري المتماسك قد يعتبر صخراً صلباً متيناً، ولو أن صلابة الكالسيت وهي مادة الحجر الجيري أقل بكثير من صلابة المرو، (الكوارتز) وهو مادة الحجر الرملي.

وإذا تساوت الأشياء الأخرى، فإن الصخر المتوسط الحبيبات يمتاز عن الصخر الخشن الحبيبات، إذ يسهل نحته، كما يغلب أن يكون أكثر مقاومة لكل من عوامل التجوية الكيميائية والميكانيكية. كما أنه لا يتأثر كثيراً بفعل الصقيع أو بفعل تغيرات درجة الحرارة، ولا تظهر فيه آثار التجوية المتفاوتة.

وتقترن علاقة معادن الصخر بمساميته، وهو عامل على درجة كبيرة من الأهمية، فعن طريق المسام المفتوحة يمكن للمياه أن تدخل في الصخر أو تسحب منه، وبهذا يزداد تعرضه للتحلل الكيميائي، وتزداد قابليته للتفتت بسبب الصقيع. والعامل الأخير أكبر تأثيراً في الصخور ذات الفراغات البينية الدقيقة عنه في الصخور ذات الفراغات البينية الكبيرة التي تتساوى في نسبة المسامية، وذلك لأن المياه تتسرب منها بسرعة أقل، فتصبح معرضة لأن تبقى مشبعة بالماء. ويوجد "ماء المحجر" في مسام الصخر، وعندما يستخرج الحجر حديثاً من المحجر ويعرف حينئذ "بالحجر الأخضر" يكون مشبعاً بماء يحتوي على مواد معدنية ذائبة.

وعندما يجف سطح هذا الصخر تتكون عليه قشرة أخرى، ولهذا السبب فإنه من المستحسن نحت الصخر وتشكيله وهو لا يزال مبلولاً (أخضر) لم يتم جفافه. وكذلك عندما يتعرض الصخر للتجوية فإن ماء المطر والندى يدخل في الصخر ويذيب بعض المركبات القابلة للذوبان، وعندما تتبخر هذه المحاليل فإن المواد الموجودة بها تسد المسام السطحية وتترك أثرها على سطح الصخر المتأثر بالجو.

وتحدد الفواصل في الصخور النارية وكذا الفواصل وسطوح الطبقات في الصخور الراسبة حجم وشكل الكتل الطبيعية التي يمكن الحصول عليها. وقد يصبح الصخر الذي يصلح حجراً للبناء عديم الفائدة إذا ما كانت فواصله متقاربة جداً من بعضها البعض. ويتصل بالفواصل في الصخور النارية الاتجاهات المعروفة بالحدة والسمرة. وهذه غالباً ما تنشأ عن ترتيب بلورات المعادن المكونة للصخر والتي لها خاصية التشقق في اتجاه خاص، أو عن شروخ مجهرية بسبب تعرض الصخر للضغط أثناء تصلبه أو بعده. ويعرف الحجارة والنحاتون سطوح الضعف هذه ويستفيدون منها في أعمالهم، ولو أنها قد تبدو غير واضحة لكثير من الناظرين. والفواصل وسطوح الطبقات في الصخور الراسبة هي الاتجاهات الفاصلة التي تتحكم في تحجير واستعمال هذه الصخور. وتكون الصخور الرملية – التي يعتمد عليها خاصة – أكثر نفعاً في المباني إذا وضعت كما كانت في طبقتها الطبيعية، أي إذا وضعت بحيث تكون سطوح طبقاتها في وضع أفقي. فإذا ما أغفل هذا الاحتياط، فإن قوة الصخر تكون أقل من القوة العادية، ليس ذلك فحسب، بل إن

عوامل التجوية تعمل على تفتيح سطوح الطبقات بسرعة زائدة، بدرجة تستلزم تغيير الصخر بأكمله في فترة زمنية قصيرة جداً.

إن قوة تهشيم الصخر المعروفة، هي عبارة عن مقاييس تجريبية لمقاومة قطع منها للضغط، وهذه المقاييس تختلف باختلاف شكل قطعة الصخر وحجمها، وسرعة التحميل، وطبيعة السطوح المعرضة للضغط.

ولا يمارس العمل في معامل الاختبار على وتيرة واحدة؛ ولذلك فإن الأرقام التي تدون لا يمكن مقارنتها بعضها ببعض؛ فمن المعروف أن بعض الأحجار الجيرية اللينة والأحجار الرملية التي تستعمل في بناء الحوائط، لها قوة تهشيم تقدر بحوالي ٣٠٠٠ رطلا للبوصة المربعة، ومع هذا فقد وجد أن هذه الصخور تؤدي بطريقة مرضية نفس الغرض الذي يؤديه صخر البازلت المتحول (الديابيز) الذي تقدر قوة تهشمه بحوالي ٣٠٠٠٠ رطلا، والواقع أن أي صخر يكون سليماً ومتناسقاً بحيث يمكن نحته واستعماله حجراً للبناء له قوة تهشيم تزيد كثيراً على متوسط القوة التي تتطلبها المباني. إن كل جرف طبيعي قائم دليل على أن الصخر الذي يتكون منه – في كتل كبيرة – لا يمكن في الواقع تهشيمه. أما قوة الشد للصخور، فبالرغم من أنها قد تكون ذات أهمية أكبر لمن يريد البناء، فإنها يندر أن تدرس، والمعلومات بشأنها قليلة. وليس لقوة الشد أية علاقة بقوة التهشيم. وهنا أيضاً نجد أن العمل في معامل الاختبار لا يسير على وتيرة واحدة، فالتجربة تتلخص في تحديد الوزن اللازم لكسر قطعة من الصخر، مساحة قطاعها العرضي حوالي

بوصة مربعة واحدة، ترتكز فوق دعامتين البعد بينهما حوالي ٦ بوصات. وتتضح أهمية قوة الشد العالية في الصخور عند استعمالها في الأعتاب.

وبالإضافة إلى الفحص المجهري لقطاعات الصخر الرقيقة، لتعيين علاقة معادنه وتركيبه المعدني، وقياس قوة التهشيم وقوة الشد، فهناك تجارب عملية أخرى لاختبار متانة الصخر وما يطرأ عليه من تغيرات عند تعرضه للعوامل الجوية. وفي عام ١٩٢٠ أنشئت في بريطانيا "محطة أبحاث البناء" كقسم من مصلحة البحث العلمي والصناعي، لتقديم الخدمات للدولة في صناعة البناء، ويكون فحص جميع أنواع المواد الانشائية جزءًا واحدًا من أعمال المحطة.

أنواع الصلصال وصناعة القرميد (الطوب): الصلصال مادة دقيقة الحبيبات، تحتوي على كمية كافية من المادة الغروية ومعادن الصلصال، التي لها الصفة المميزة من النزوع إلى الماء لتكون مادة لزجة عند ابتلالها. ويحتوي الصلصال – غالباً – على نسبة كبيرة من بعض سيليكات الألومنيوم المائية (لو٢ أ٣. (م) س أ٢. (ن) يد٢ أ) وفيها (م) و(ن) متغيرة، ولو أن معادن الصلصال الأخرى لها تركيب أكثر تعقيداً.

وكل هذه المواد عبارة عن المنتجات المتخلفة من تفتت أو تحلل معادن الصخور النارية، وخاصة أنواع الفلسبار والسيليكات الحديدية – المغنيسية التي اشتقت منها هذه المواد بفعل التجوية الكيميائية. ولذلك توجد غالبية طبقات الصلصال على هيئة مواد رسبت تحت الماء.

وينكمش الصلصال عند جفافه، ويتوقف مقدار هذا الانكماش على كمية الماء الموجودة بين جزيئات الصلصال، أو ضمن التركيب الجزئي لمعادنه. وجميع أنواع الصلصال تقريباً عبارة عن مخاليط من أنواع من معادن الصلصال مع الطمي وبعض الرمل الناعم، وتختلف درجة انكماش هذه المجموعة اختلافاً كبيراً. والانكماش الزائد (أكثر من ٣٠% من الحجم) لا يجعل من الصلصال أداة طبيعية لصنع القرميد أو لأغراض صناعة الفخار، ولذلك يستلزم الأمر إجراء تجارب على تجفيف الصلصال وحرقه لضمان صلاحية الصلصال المطلوب استعماله لهذا الغرض. على أنه يمكن معالجة الانكماش الزائد في الصلصال بخلطه بمادة حرقت من قبل أو بالرمل.

ويبقى جزء من الماء في الصلصال حتى بعد تشكيله في القوالب وتجفيفه في الهواء، ونظراً للاندماج الشديد في هذه المادة اللزجة، فإنه لا يمكن التخلص من كمية الماء كلها حتى في المراحل الأولى من الحريق. ويتحد جزء من الماء الذي لم يمكن التخلص منه مع الألومينا والسيليكا والحديد والقلويات اتحاداً كيميائياً أكثر ثباتاً ليكون زجاجاً سيليسياً. وتشتمل عملية حرق القرميد على تكوين كمية كافية من الزجاج تربط بين الجزيئات التي لم يتم صهرها.

وعلى هذا فإن صلاحية نوع من الصلصال أو الطين لصناعة القرميد، لا تتوقف على مقدار انكماشه عند تجفيفه فحسب، بل تتوقف أيضاً على نسبة المواد الكيميائية الثانوية. فمن الضروري وجود بعض

الصودا والجير وحتى المغنيسيا كمواد صاهرة عند درجات الحرارة المنخفضة، كما أنه يلزم وجود بعض الحديد ليضفي على القرميد اللون الأحمر أو البني المطلوب، على أن زيادة المواد الصاهرة تسبب زيادة نسبة الزجاج المتكون (التزجيج أو التقزيز). وتحتوي معظم أنواع الصلصال على كمية معلومة من الكربون العضوي، ومعها كمية من الكبريت على هيئة كبريتور الحديد التي تضفي على الصلصال – الذي لم يتعرض لعوامل التجوية – لوناً أزرق أو أسود. ويتم احتراق الكربون وتتحول الكبريتورات إلى كبريتات القلويات المغنيسيا والجير في الجو المؤكسد للفرن. وعندما لا يبقى شيء من البخار، وعند استعمال القراميد، تذيب مياه الأمطار كميات لا يستهان بها من هذه الكبريتات، ثم تسحبها إلى سطوح القرميد مكونة بلورات قبيحة المنظر؛ فبلورات كبريتات الصوديوم ليست سيئة المنظر فحسب، بل إنها تعمل على تفتيت القرميد لأن بلوراتها تحتوي – في درجات الحرارة المنخفضة – على عشرة جزيئات من الماء، بينما إذا تعرضت لحرارة الشمس فإن تركيبها الكيميائي يصبح (ص$_{٢}$ كب أ$_{٤}$. ٤ يد$_{٢}$ أ) وتكون مستعدة – عندما تبرد – لأن نستعيد الجزيئات الست من الماء، فتتمدد تبعاً لذلك وتفتت القرميد بدرجة تفوق فعل الصقيع.

إن أقدم طريقة لصناعة القرميد – والتي لا تزال مستعملة في الصناعة القروية – هي طريقة العجن، إذ يعجن الصلصال ثم يشكل في القوالب ويجفف في الهواء لبضعة أسابيع ثم يحرق. ويؤخذ انكماش القرميد أثناء جفافها في الاعتبار عند صبغ قوالبها، ويحتفظ بمقاييس

القراميد في حدودها بإضافة بعض الرمل أو الرماد. والمادة المرغوبة هي "حجر القرميد" وهي راسب من الطين أو الطمي يشبه المادة المعروفة باسم "اللوس" ترسب في فترات ما بين الجليد. ويضيع الكثير من الوقت والحرارة في طرد الماء الموجود به، غير أن الخسارة في نفس الوقت يمكن التغلب عليها لدرجة ما في طريقة الكبس. وفي هذه الطريقة يستعمل مكبس ميكانيكي لتشكيل الطين في القوالب بعد إضافة قليل من الماء. أما في الطريقة الجافة المستعملة في صناعة القراميد فلا يضاف فيها أي كمية من الماء. ويشكل القرميد فيها بواسطة كبس الصخر (الطيني الصفحي أو الاردوازي) بعد تكسيره تحت ضغط يكفي لتدوير أو تحريف الحبيبات، وتحتوي هذه المادة على أصغر كمية من الماء الموجود في معادن الصلصال نفسها التي يتركب منها الصخر المستخرج من المحجر.

وكان القرميد الذي يعرض في أسواق لندن يصنع من حجر قرميد مثل حجر "وادي لي" مخلوطاً بنفايات المنازل، وأكثرها من رجوع الفحم وفضلات الخضروات، وهذه تمد الحجر بالكثير من المواد القابلة للاحتراق مما يجعل المخلوط يحترق ذاتياً، وكثيراً ما يمكن مشاهدة قطع صغيرة من الفحم لم تحترق، وذلك على السطوح المكسورة للقراميد.

ومصانع القرميد الكبيرة الحديثة ذات الإنتاج الكبير الآلي والتي تستعمل "طين أكسفورد" لها مزية مماثلة لتوفير الوقود، وذلك لوجود نسبة ملائمة من "عقد" القار تقلل حرق الفحم الحجري إلى الحد

الأدنى. والإشراف التام على عملية الحرق مهم جداً، وذلك لأنه يجب طرد الماء قبل إمكان حرق المادة الكربونية، وسوف لا تتأكسد كبريتورات الحديد ويأخذ القرميد لونه الأحمر إلا بعد إزالة جميع الكربون.

أنواع الأسمنت البورتلاندي وغيره: شهد منتصف القرن الثامن عشر تجارب مختلفة لتكليس مخاليط من الصلصال والجير لصنع نوع من الأسمنت الروماني أو الملاط المائي. على أن اكتشاف الأسمنت البورتلاندي (وقد سمي بهذا الاسم نظراً لمشابهته لحجر بورتلاند الرمادي اللون) يعزى إلى جوزيف أسبدين في أوائل القرن التاسع عشر.

ولقد بقي الإنتاج من المخاليط الطبيعية في المرحلة التجريبية حتى أواسط القرن الماضي، حينما ظهر إنتاج يمكن التنبؤ بخواصه قبل إنتاجه. وأسمنت بورتلاند عبارة عن مخلوط يحتوي على ثلثين من الحجر الجيري تقريباً، وثلث من الصلصال، يحرق عند درجة حرارة شديدة لصهره، ثم يطحن إلى مسحوق ناعم. فإذا خلط بالرمل فإنه يتماسك – بإضافة الماء – في غير ما سرعة زائدة، ويكون ملاطاً رخيصاً أقوى من أي نوع عرف من قبل. والمعادن التي تتكون نتيجة التغيرات التي تحدث أثناء عمليات الحرق والتماسك غير مفهومة تماماً. على أن التفاعلات الكيميائية قد درست بصفة تجريبية بالاختبار والتحليل المستمر، ويظهر أن ألومينات الكالسيوم وسيليكات الكالسيوم "المذاب" أحداها في الأخرى المكونة عند درجات الحرارة العالية، تكون لها القدرة على اجتذاب الماء والتبلور – عند عملية التماسك – على

هيئة مخلوط من المعادن. ويمكن "إذابة" الأجسام الصلبة بعضها في الآخر بتسخينها تحت درجة الانصهار، ويمكن الإسراع في هذه "الإذابة" بخلط المواد الخام خلطاً تاماً قبل حرقها. وكما هو الحال في صناعة القرميد، فإن بعض الشوائب من القلويات والحديد تساعد على الصهر. على أنه يجب تجنب الكميات الزائدة من هذه الشوائب، وكذا تجنب إضافة الحبيبات الخشنة من السيليكا تجنباً تاماً. والمخاليط، التي تحتوي على أجزاء من الأسمنت التي لم يتم حرقها والتي قد تحتوي على الجير، تتشقق عندما يمتزج الجير المحروق بالماء، فيتمدد بعد أن تكون المركبات الأخرى قد تجمدت.

ومواد الأسمنت الخام هي كربونات الجير – وهي غالباً على هيئة طباشير أو حجر جيري مطحون – وسيليكات الألومنيوم على هيئة صلصال. وتقام المصانع في المواقع التي يمكن فيها جمع هذه المواد مع الفحم والماء دون مشقة مع قربها من سوق المستهلكين. وقد توجد المواد الجيرية والطينية مختلطة في حالة طبيعية في تكوين واحد مثل الطفل الطباشيري (وهو التكوين الطيني غير النقي الموجود بالجزء الأسفل من التكوين الطباشيري في الجزء الشرقي من إنجلترا) وبعض رواسب تكوين "اللياس"، وفيه تتعاقب طبقات من الصخر الطيني الصفحي والحجر الجيري، على أنه لا يوجد في المملكة المتحدة راسب واحد يعطي المادة التي لها التركيب الصحيح المضبوط. وأقرب هذه الرواسب إلى التركيب المطلوب هو الطفل الطباشيري الموجود في شرق "أنجيليا"، وحتى في هذه الحالة فإنه من الضروري الإشراف التام والعناية

على خلطات الطبقات العليا التي تزداد فيها المواد الجيرية بالطبقات السفلى والتي تزداد فيها المواد الطينية. وفي مصر تستعمل مصانع حلوان ومصانع طره للأسمنت الرواسب الجبرية (الحجر الجيري) والرواسب الطينية الموجودة في رواسب التكاوين الأيوسينية الموجودة في التلال المجاورة نحو الشرق.

ويجب طحن المواد طحناً ناعماً وخلطها خلطاً جيداً بالنسب الصحيحة قبل عملية الحرق، وعملية الخلط – كما هو الحال في صناعة القرميد – قد تكون بطريقة البلل التام أو البلل القليل أو بالطريقة الجافة. ولعمليات الخلط الجافة ميزة الاقتصاد في مواد الحريق.

وتستعمل طريقة البلل التام في الحالات التي يتوافر فيها الماء وتكون فيها المواد الخام سهلة التفكك في الماء، ولقد أصبحت هذه الطريقة هي الطريقة المعتادة في مصانع الأسمنت الممتدة على طول نهر التيمز وميدواي، وفيها يخلط "طين ميدواي" بالطباشير المحلي. أما طريقة البلل الجزئي – التي يقل استعمالها في الوقت الحاضر – فيستخدم فيها أقل كمية من الماء في عمليات الطحن والخلط. أما في الطريقة الجافة، فيجفف كل من الحجر الجيري والصلصال قبل طحنهما إلى مسحوق ناعم، ويجب جمع الغبار من الأفران قبل السماح لمنتجات الحرق بالتسرب إلى الهواء.

ولا يزال الإنتاج المحلي لبعض "الأسمنت الروماني" مستمراً في مناطق "دورسيت" و"سومرسيت"، وذلك بحرق عقد من حجر الأسمنت والتي تحتوي على نسبة ملائمة من الصلصال. ويتجمد هذا النوع من الأسمنت بسرعة زائدة، ولايمكن إضافة الرمل إليه إلا بكمية صغيرة (لا تزيد على ٥٠%) عند استعماله كملاط. ويصنع المصيص من الجبس (الألابستر) وذلك بطرد ثلاثة أرباع كمية ماء التبلور الموجود به عند درجة حرارة حوالي ١٢٥ْ مئوية حسب المعادلة التالية: ٢ (كاكب أ ٤ ٠ ٢ يد ٢أ) ٢ كاكب أ٤. يد ٢ أ+ ٣ يد ٢أ. وهذا التفاعل عكسي، إذ أن المادة تتجمد بشدة وبسرعة بمجرد أن تمتص جزئية الكبريتات الماء ثانية. وينتج معظم المصيص البريطاني من رواسب الجبس التي تقترن بطفل تكوين الحجر الرملي الأحمر الجديد في منطقة "وادي ترنت" أو "كمبرلاند". وفي مصر يستخرج المصيص بكميات وافرة في منطقة البلاح عند قناة السويس قرب الإسماعيلية.

اردواز التسقيف: عندما يتعرض حجر الطين أو الصخر الطيني الصفحي إلى ضغط جانبي شديد تحت درجات حرارة معتدلة، يحدث تعديل في اتجاهات الحبيبات المكونة للصخر، كما تتبلور معادن ميكائيكة ثانوية، وتكون ندفها متعامدة مع اتجاه الضغط. ولهذا يكتسب الصخر الناتج اتجاهات محددة، ويمكن تشققه إلى ألواح رقيقة موازية للاتجاه التركيبي الجديد، والواقع أن الصخر يكتسب خاصة التشقق الاردوازي. والتشقق الجديد بدرجة تفي بغرض إردواز التسقيف، يمكن أن يضفي فقط على الصخور الدقيقة الحبيبات التي تحتوي على بلورات

رقيقة في مادة رابطة، ويمكن تغيير اتجاهات البلورات، كما يمكن تكوين أنواع الميكا الثانوية من المادة الرابطة عند درجات حرارة منخفضة نوعاً.

ولهذا فإن هذا النوع من التشقق ينحصر في بعض الصخور الطينية، وأنواع محدودة من الرماد البركاني. والطمي وهو يتكون – كلية – من حبيبات دقيقة جداً ولكنها متساوية الأبعاد من المرو (الكوارتز)، لا يمكن أن يكون له خاصة التشقق، مثله في ذلك مثل الحجر الرملي والحجر الجيري. ومما يجب ملاحظته أيضاً، أن سطوح التشقق مستقلة استقلالاً تاماً عن سطوح الطبقات الأصلية للصخر الراسب، وهذه وإن كانت قد سدت تماماً في بعض الأحوال، فقد يميط اللثام عن وجود بعض خطوط بألوان مختلفة أو طبقات رقيقة من الطمي أو الرمل. وسوف تتوقف العلاقة بين سطوح التشقق وسطوح الطبقات على ما أضفاه انثناء وتجعيد الطبقات على الصخر في المراحل الأولى للضغط، وعلى كيفية قطع التشقق لهذه الانثناءات. والتشقق ظاهرة إقليمية يغلب أن تكون ثابتة بشكل يدعو إلى الدهشة في مساحات واسعة، وقد يتصادف – في بعض المواقع – أن تتحد سطوح التشقق مع السطوح الأصلية للطبقات، ولكن يغلب أن يقطع التشقق السطوح الأصلية للطبقات في زوايا كبيرة.

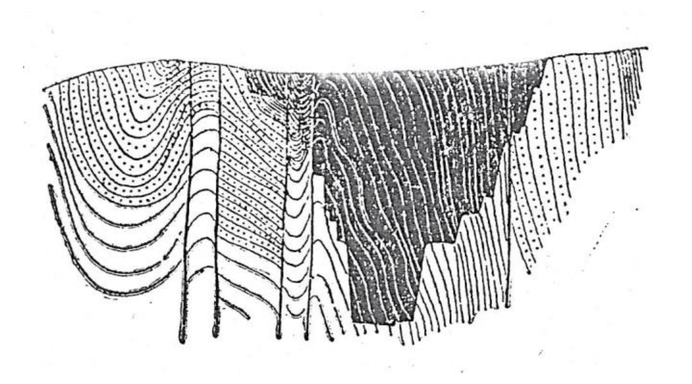
وأعظم مناطق إنتاج الإردواز في بريطانيا – وأشهرها في العالم – هي المنطقة الواقعة بين "سنودن" وشاطئ ويلز الشمالي، وهذه تشمل "بتسدا" و"لانبريس" و"نانتل" (شكل ٣٢). وعند بدء الحركات الأرضية الكاليدونية لبناء الجبال، كانت صخور الكامبري في هذه المنطقة

مضغوطة – كما لو كانت بين فكي منجلة – بين كتلة صخور ما قبل الكامبرية المتبلورة الشديدة الصلابة في سلسلة "بادارن تريفان"، وبين كتلة صخور "سنودن" البركانية. إن الانثناءات والفوالق الواقعة في اتجاه الطبقة والتشقق، كل هذه طرق متصلة بعملية التعديل الناتج من الحمل الثقيل الذي نتج حينما دفعت كتلة "سنودن" بقوة في اتجاه كتلة "بادارن".

وقد تشققت بعض رواسب التكوين الأردوفيسي الأسفل جنوبي "سنودن" تشققاً تاماً، حيث يستخرج الإردواز بكميات كبيرة بالقرب من "بلانوفستينيوج". ويظهر تشقق غير تام في الصخور العلوية المكونة من التكوين الأردوفيسي الأعلى والتكوين السيلورى في جميع مناطق ويلز الشمالية. ويستخرج الإردواز أيضاً بكميات كثيرة من صخور التكوين الديفوني عند "ديلابول" في مقاطعة كورنوال، ومن صخور الرماد البركاني في مجموعة "بورودال" في منطقة البحيرات، وتستعمل في الحالات التي تتطلب القوة وجمال اللون بغض النظر عن السمك. و"إردواز" "ستونفليد" و"كوليوستون" في مناطق أكسفورد وجلوستر ونورثهامبتون، هو عبارة عن حجر جيري رملي، ملفت للنظر ورقيق الطبقات وليس إردوازاً حقيقياً بالمرة. أما "الإردواز" الرمادي الموجود في مقاطعتي يوركشير ولانكشير، فهو عبارة عن حجر رملي رقيق الطبقات من تكوين "الكورميجر"، ويوجد في مصر أنواع رديئة من الإردواز في جبال البحر الأحمر.

أحجار الرصف: يشترك كثير من الخواص التي يجب توفرها في حجر الرصف – وخاصة اندماج الصخر ومقاومته للامتساح وعوامل

التجوية – مع الخواص المطلوبة في أحجار البناء. على أن الصخور المليئة بالفواصل المتقاربة غير المنتظمة قد تصلح أيضاً للرصف، لأنه من الواجب – على أية حال – تكسير الصخر وغربلته إلى الحجم المطلوب، ولهذا السبب فإن الكثير من الصخور النارية الدقيقة الحبيبات ومن الأحجار الجيرية التي لا تصلح كأحجار للبناء يمكن استعمالها كأحجار للرصف. وكان المعتقد – منذ ربع قرن مضى – أن قدراً محدوداً من التحلل في الصخور مرغوب فيه، لأنه يساعد على اندماج المخلوط مع استعمال الماء، كما أنه كان من المرغوب فيه أيضاً، الصخور النارية القاعدية الدقيقة الحبيبات عندما توجد في كتل كبيرة. ولقد أدخل عامل جديد على إنشاء طرق المكدام، وذلك بسبب زيادة استعمال السيارات الميكانيكية. ولهذا قلت أهمية استعمال الماء في زيادة مقدرة اندماج المخلوط، وأصبح تأثر الصخر بالقطران وفضلات الزيت الخام لتماسكها من الأهمية بمكان. ومن بين أنواع الصخور التي يغلب الاعتماد عليها في أغراض الرصف الحالية، صخور الديوريت والجابرو – وخاصة الدولوريت – إذا وجدت بكميات كبيرة، ولا يلتصق القطران التصاقاً جيداً بقطع الصخور النارية الحمضية، على أن القطع الصغيرة المغربلة منها (السن) تصلح في تغطية سطح الطرق وتمنع التزحلق. ومن بين الصخور الراسبة، بعض الأحجار الجيرية من التكوين الفحمي الأسفل وهي تصلح كمادة قوية للرصف، كما أن صخر الكوارتزيت المتماسك من التكوين الكامبري والأردوفيسي يصلح كمادة لتغطية سطوح الطرق.



(شكل ٣٢)

قطاع في محجر للإردواز "فرنهيلوج" في منطقة نانتل في ويلز الشمالية. يبين الإنثناءات والفوالق في الصخور الرملية "المنقطة" والإردواز التي يقترن بالتشقق. وقد أغفلت خطوط التشقق من الشكل وهي تميل عن الوضع الرأسي بدرجات قليلة فقط.

المقياس التقريبي: بوصة واحدة لكل مائتي قدم.

ومعظم الصخور الراسبة تتفتت أو تتكسر إلى قطع صغيرة قشرية على امتداد سطوح الضعف التركيبية مثل سطوح الطبقات الرقيقة منها. ويوجد في مصر أنواع لا حد لها تصلح للرصف، وتستعمل منها في القاهرة صخور البازلت من أبي زعبل، والأحجار الرملية من جبل المقطم، والصخور الرملية المتماسكة من الجبل الأحمر.

الفصل العاشر

مواد المعادن اللازمة للصناعات الثقيلة

الفحم الحجري: طبيعة الفحم الحجري ودرجته ونوعه – طريقة التكوين– حقول الفحم الحجري الظاهرة والمختبئة – تقدير الاحتياطي الممكن استغلاله.

الحديد: الخامات الرسوبية والخامات التي تحل محل مواد أخرى – الماجنتيت.

الفحم الحجري – من الناحية الاقتصادية – أكثر أهمية من أي نوع آخر من الصخر، وهو العضو الرئيسي في مجموعة الرواسب الكربونية المكونة من التحلل الجزئي للمواد النباتية. ويوجد الفحم الحجري في بريطانيا في التكوين الفحمي المسمى باسمه، وقد يوجد الفحم الحجري – في الأنحاء المختلفة في العالم – في أي تكوين آخر، مبتدئاً من التكوين الديفوني الأعلى ومنتهياً بالتكوين الثلاثي الأخير.

والفحم الحجري العادي المستعمل في المنازل أو الفحم القاري، عبارة عن فحم دبالي، أي يتكون من مادة نباتية تغلب أن تكون من الخشب أو من اللحاء. وللفحم الحجري تركيب مخطط تتميز به المواد الرسوبية. وتتكون الطبقات التي يغلب أن ينفصل عندها الفحم الحجري

إلى ألواح من مادة هشة جداً تشبه الفحم النباتي (فيوزين) تلوث الأصابع، وفيها يسهل رؤية تركيب خلايا القطع الخشبية.

وهناك طبقات أخرى واضحة وغالباً ما تكون عدسية الشكل، وهي سوداء لامعة من الفحم (فيترين أو أنثرازيلون)، وتتكون أيضاً من القطع الخشبية، ولكن فجوات الخلايا تكون مملوءة بمادة فحمية. ويعتقد بعض المختصين بوجود نوعين آخرين من الطبقات، تتميز أولاها بالتلبد، وتتميز الثانية بسطح أطلسي. والنوع الأول فحم حجري صلب معتم (ديورين) يتكون من مواد مختلفة تحتوي إلى جانب الخشب واللحاء على غطاء القشرة الممروس المعطن وأغلفة بذور النبات وبعض الراتنج (الصمغ). والنوع الثاني مركب أيضاً ويتكون غالباً من الخشب واللحاء المتحولة إلى (فيترين) و (فيوزين) مختلطة في أجزاء مجهرية.

ويكفي – في معظم الأغراض – التمييز بين المركبات الثلاثة وهي: الفحم الحجري اللامع والفحم الحجري الصلب أو المعتم والفحم النباتي المعدني (فيترين، بقايا النباتات، فيروزين).

وأنواع الفحم الحجري من المجموعة غير الخشبية أقل شيوعاً، وتشمل فحم "الكانل" غير الخشبي و "البوجهيد"، وتتكون من بقايا النباتات الممروسة المعطنة، وتشمل حبوب اللقاح الصلبة وبذور النباتات، ويوجد في النوع المسمى "بالتوربانيت" نسبة كبيرة من الطحالب.

وهذه الأنواع ليست طباقية فحسب، بل إن الفواصل التي تتميز بها أنواع الفحم الدبالي تكون متباعدة وأقل كمالاً، أما القطع الصغيرة فيغلب أن يكون لها مكسر زجاجي.

ويختلف أصل أنواع الفحم الدبالي عن أصل الأنواع غير الخشبية، ولكن التصنيف الذي يبنى على الفرق بين أصلهما، أقل ملاءمة من التصنيف المبني على التحليل الكيميائي، الذي يبين درجة تغير المواد العضوية التي كانت أصلاً بها. ويتبع الزيادة المطردة للنسبة المئوية للكربون، تناقص في العناصر الأخرى وهي الأوكسجين والهيدروجين والنيتروجين[1]. ويتضح هذا التغير في التركيب من متوسط تحاليل أنواع الوقود التالية. ولأغراض التصنيف، يجب أن تكون النسب المئوية قد حسبت على أساس خلو الوقود من الماء والرماد:

	الكربون	الهيدروجين	الأوكسجين	النيتروجين
الخشب	%٥٠	%٦,٢٥	%٤٢,٧٥	%١
البيت	%٥٧	%٦,٥	%٣٤,٥	%٢
اللجنيت	%٧٠	%٥,٥	%٢٣	%١,٥
القسم البيتوميني	%٨٦	%٥,٥	%٦,٨	%١,٧
الأنثراسيت	%٩٤	%٣,٥	%١,٥	%١

[1] ويغلب وجود الكبريت أيضاً، ولكنه قلما يكون من مصدر عضوي عنه وذلك من اختزان الكبريتات الموجودة في المياه التي كانت موجودة عند تكون الفحم الحجري.

وعلى هذا فإن أنواع الفحم الحجري البيتوميني العادية تحتل موضعاً وسطاً بين أنواع البيت واللجنيت التي تغيرت تغيراً بسيطاً نسبياً، وبين الأنثراسيت العالي التمعدن الذي تغير تغيراً كبيراً. ويلاحظ أن هناك سلسلة مماثلة من التغيرات الكيميائية المطردة في أنواع الفحم النباتي.

وتحدد درجة التغير ما يعرف باسم "مرتبة" الفحم الحجري، ويمكن التعبير عنها بالتغير فيما تحتويه المادة من الأوكسجين. والتغير المماثل في نسبة الهيدروجين طفيفة فيما بين أنواع اللجنيت والفحم البيتوميني، فهي تتراوح بين ٤٥% و ٦% أي في حدود المدى الملاحظ في مختلف طبقات العينة الواحدة. وعلى عكس ذلك فإن التغيرات في نسبة الأوكسجين – وهي من ٥٠% في الخشب وتنخفض إلى صفر في المائة – لا يمكن أن تكون نتيجة لتغيرات في مركبات النبات التي تكاد تكون ثابتة – بشكل يدعو إلى الإعجاب – في جميع النباتات الحديثة، ولكنها لا بد أن تكون نتيجة لبعض التغيرات الجيولوجية التي حدثت بعد الترسيب.

وعلى وجه العموم، فإن جميع أنواع الفحم الحجري الموجودة في التكوين الثلاثي منخفضة الرتبة، على أن وجود الأنثراسيت في التكوين الثلاثي بأمريكا يثبت أن القدم وبعد العهد وحدهما ليسا هما السبب الذي يتحكم في تكوين الفحم. وبالرغم من أن قصة تكوين الفحم الكاملة لا تزال في حاجة إلى شرح وإيضاح، فهناك حقيقتان بارزتان وهما:

(أولاً) قد تتغير رتبة الفحم في طبقة واحدة تدريجياً عبر حقل من الفحم، وحينما تتغير طبقة واحدة، فإن جميع الطبقات الأخرى التي تعلوها أو تكون أسفلها تتغير تباعاً. أي أن التغيير يحدث في جميع الجهات.

(ثانياً) تكون طبقات الفحم العميقة – في قطاع رأسي لم يتغير الوضع الأصلي لطبقاته – أعلى رتبة من طبقة الفحم القريبة من سطح الأرض (قانون هلت).

إن هاتين الملاحظتين تشيران إلى فعل العوامل الجيولوجية. ويتجه الاعتقاد إلى أن الحرارة والضغط – وهما من بين هذه العوامل الجيولوجية – ربما لعبا دوراً رئيسياً في هذا الشأن.

إن استعمالات الفحم الحجري تتوقف على سلوكه عند تسخينه في الهواء أو في حيز ينعدم فيه الهواء، أي على قيمته الحرارية والمنتجات الناشئة عن تقطيره. وتختلف القيمة الحرارية للفحم الحجري باختلاف رتبته، سواء عبر عنها بالوحدات الحرارية البريطانية للرطل أو بالسعر للجرام حسب الطريقة المترية. ويمكن التنبؤ بالقيمة الحرارية للفحم إذا علمنا مقدار ما يحتويه من الكربون والأيدروجين. إن الرماد غير القابل للاشتعال يقلل من الكفاءة الحرارية بأكثر من نسبته المباشرة، فإذا صهر الجزء الذي لم يشتعل وكون مادة زجاجية، فإن قيمة الفحم كمادة وقود تقل كثيراً.

وتقطير الفحم الحجري هي عملية تحلل، فالمنتجات الطيارة تحمل معها كل الأوكسجين ومعظم الأيدروجين وحوالي نصف النيتروجين

والكبريت مع بعض الكربون الذي على هيئة غاز، وكذا قطران الفحم والنوشادر، وتترك خلفها "الكربون الثابت" على هيئة فحم الكوك المعروف في المنازل وفي مصانع الغاز. وتختلف الكميات التي يمكن جمعها، على سرعة التسخين ودرجة الحرارة في خزان الاستقطار، وعلى نوع الفحم الحجري نفسه. ويستخرج من كل طن من الفحم الحجري نحواً من ١٠ إلى ٢٠ جالوناً من القطران. وهذه إذا عولجت كيميائياً وأعيد تقطيرها فإنها تنتج البنزين والتولوين وكل المجموعة المدهشة من مشتقات قطران الفحم، التي تكون المواد الخام اللازمة لصناعات الصباغة والعقاقير.

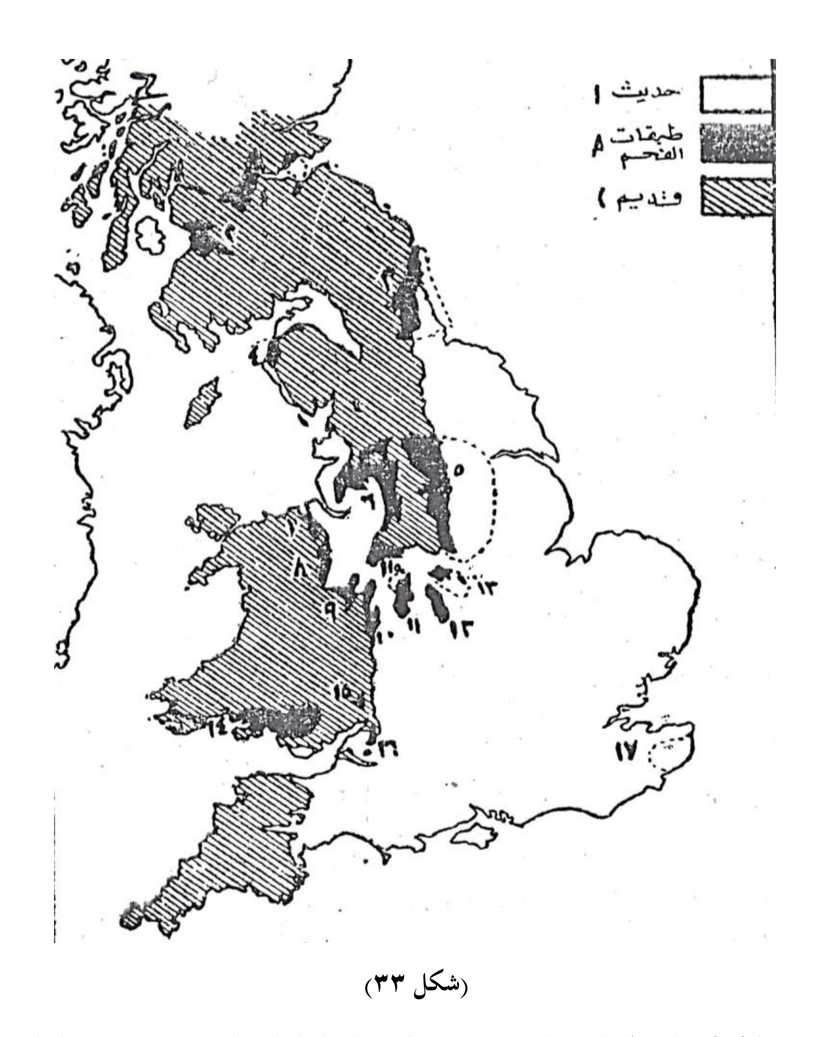
ويستخدم تقطير الفحم الحجري بكميات كبيرة في أفران الكوك أساساً لاستخراج الفحم الكوك وذلك لاستعماله في أفران صهر الحديد. أما الغازات وقطران الفحم فهي منتجات ثانوية كانت إلى عهد غير بعيد تضيع هباء منثوراً.

والفحم الكوك مادة أساسية في صهر الحديد، ويستخدم أيضاً في صناعة غاز الاستصباح. وهو خليط من غازات أول أكسيد الكربون والأيدروجين والنيتروجين، وهذه يحصل عليها بدفع بخار الماء والهواء خلال الفحم الكوك المسخن إلى درجة الاحمرار. وأحسن أنواع الفحم الحجري لصناعة الكوك والتي يستخرج منها الكوك الصلب بواسطة التقطير السريع، هو من نوع الفحم الحجري البيتوميني الذي يحتوي على حوالي ٢٥٪ إلى ٣٠٪ من المواد الطيارة.

أما أنواع الفحم الحجري البيتوميني التي تحتوي على أكثر من ٣٠٪ من المواد الطيارة، فهي أكثر صلاحية لاستخراج غاز الاستصباح في المدن، أو لاستخراج الغازات التي تستخدم في مصانع الصلب.

منشأ الفحم الحجري: إنه لمن المتوقع أن تكون ظروف تكوين هذه المادة القيمة المهمة مثار الكثير من الاهتمام والجدل أيضاً إلى الآن. فإن من المسلم به على وجه العموم أن معظم طبقات الفحم الحجري في بريطانيا وفي أوروبا وأمريكا لم تتكون بسبب تراكم المواد النباتية المجروفة، وإنما تكونت من مواد نباتية تراكمت وتفحمت في المكان الذي نبتت فيه. وإن امتداد هذه الطبقات مع ما يلازم كلاً منها من الطين الحراري وانتظامها وخلوها – الذي يبعث على الدهشة – من الرواسب المكونة من خليط من فتات الصخور، وندرة وجود بقايا الحيوانات المائية، لمما يؤيد بطلان نظرية النباتات المجروفة. وتفتقر طبقة الطين الحراري التي تقع تحت طبقة الفحم الحجري – وهي في الحقيقة عبارة عن بقايا تربة سالفة – تفتقر بشكل ظاهر إلى القلويات والكالسيوم والحديد. ويمكننا أن نستنتج أن هذه المواد قد استخلصتها جذور النباتات التي كونت الفحم، ولا تزال آثار احتراق هذه الجذور للطبقة الطينية باقية إلى الآن.

وكيفما كان، فالتكوين الفحمي في بريطانيا يشمل الكثير من أنواع الصخور، إلى جانب طبقات الفحم وما تحتها من طبقات طينية.



(شكل ٣٣)

خريطة كروكية لحقول الفحم الحجري في بريطانيا "الخطوط المتقطعة تبين امتداد الخطوط المختبئة المهمة".

١ – جلاسجو، ٢ – أيرشير، ٣ – دورمهم ونورثمبرلاند، ٤ – هوايت هافن، ٥ – يوركشير وداربي شيرونوتنجمهم شير ٦ – لانكشير، ٧ – فلنت، ٨ – دنبيغ، ٩ – شروزيري، ١٠ – كولبروكديل، ١١ – جنوب ستافورد شير، ١١ – شمال ستافوردشير، ١٢ – واريك، ١٣ – ليستر، ١٤ – جنوب ويلز ١٥ – فورست أف دين، ١٦ – بريستول ورد ستوك، ١٧ – كنت.

فالصخور الطينية الصفحية والصخور الطميية والصخور الرملية، تكون الجزء الأكبر من صخور هذا التكوين. وفي كثير من الصخور الطينية الصفحية، توجد طبقات تحتوي على بقايا أصداف المياه العذبة (مثل كربونيكولا وغيرها). وقد جمعت أصداف الرخويات البحرية (ومنها جونياتيتس) من ست طبقات مختلفة. وعلى هذا يغلب أن تكون الرواسب من رواسب المياه العذبة، أو من رواسب الدلتا يتخللها طبقات رقيقة من الرواسب البحرية، مما يدل على هجوم البحر أو طغيانه. وهكذا تكون طبقات الفحم الحجري ناتجة عن نمو الغابات التي تغطي مساحات واسعة من الأراضي المنخفضة (المستنقعات).

ولا يوجد في الوقت الحاضر مثل هذه المستنقعات الواسعة التي تغطيها الغابات، ولكن من الممكن أن نتصور شيئاً يشبهها في مستنقع "جريت دزمال" في فيرجينيا، الذي يغطي مساحة تقرب من مساحة سهل الفيضان لنهر الأمازون، أو من مساحة دلتا نهر الجانج، وقد تكون "الفيترين" من اللحاء والنسيج الخشبي، بسبب سقوط جذوع الأشجار وبقائها مشبعة بالماء في مستنقعات مياهها راكدة ملأى ببقايا النباتات (البيت). وقد يكون "الفيوزين" ناشئاً عن غصون وأفرع الأشجار التي تعطنت جزئياً في الهواء. أما الطبقات المعتمة في الفحم الحجري، فهي عبارة عن بقايا نباتات ممروسة معطنة، والتي غالباً ما تكون مبللة وقد تكون أحياناً جافة، وهي متحللة بدرجة لا يبقى معها سوى النوى والبذور الشديدة المقاومة وغطاء القشرة وحبات الرانتج. ومن المعتقد أنه يلزم تراكم ما لا يقل سمكه عن ١٥ قدماً من مثل هذه الرواسب النباتية

الخشبية "البيت" لتكوين قدم واحد من الفحم، وحوالي ٥٠ إلى ٦٠ قدماً من مخلفات الغابات لتكوين طبقة من الفحم سمكها أربعة أقدام. وفي النهاية تغمر هذه الرواسب من النباتات، ثم تدفن تحت رواسب عظيمة السمك من الصخور الرملية والصخور الطينية الصفحية التي تكونت في الدلتا.

ويتجدد نمو الغابات فوق هذه الرواسب عندما يتم ملء الأراضي المغمورة بالرواسب. ويستعاد التوازن بين البحر والأرض. وتقطع مجاري المياه أوديتها غير المنتظمة عبر مستنقعات الدلتا، وعندما تملأ هذه الأودية بالرواسب الرملية يكون امتداد الطبقة الفحمية قد قطع، وينشأ عن ذلك ما يسميه المعدنون "انجراف الطبقة".

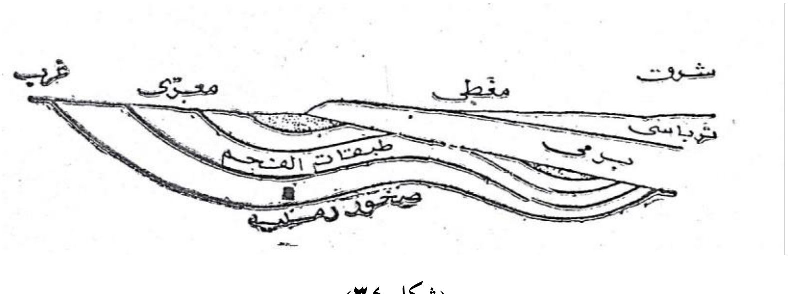
أما الفحم الحجري غير الخشبي والأنواع البتيومينية الأخرى وما شاكلها، فتختلف كل الاختلاف عن الأنواع السابقة، فهي من رواسب البحيرات والبرك وهي محدودة الامتداد عدسية الشكل، وتشتمل على نسبة كبيرة من فتات الصخور، وليس تحتها طبقة طينية تمثل التربة السابقة، وكثيراً ما يوجد بها بقايا الأسماك والحيوانات المائية الأخرى. والواقع أن هذه الأنواع من الفحم الحجري هي من النوع المجروف، وأن برك المياه التي تكونت فيها ما هي إلا مساحات صغيرة مكشوفة عديمة الأشجار وسط الغابات الشاسعة التي تغطي المستنقعات.

الفحم الحجري- حقوله واحتياطياته

يوجد الفحم الحجري ويستغل في مناطق منعزلة تعرف بحقول الفحم الحجري، وهي في إنجلترا عبارة عن مناطق تحتلها صخور التكوين الفحمي الأعلى، وهي حقول إما مكشوفة أو مختبئة. وحقل الفحم الحجري المشكوف في بريطانيا، عبارة عن بروز طبقات التكوين الفحمي الأعلى، أما الحقل المختبئ ففيه تكون طبقات التكوين الفحمي الأعلى مدفونة – في عدم توافق – تحت غطاء من صخور التكوين البرمي أو صخور حقب الحياة الوسطى. وجميع حقول الفحم الحجري سواء في إنجلترا أو ويلز، عبارة عن أحواض أو تراكيب ثنيات مقعرة واسعة تستقر فيها طبقات التكوين الفحمي الأعلى – في توافق إلى حد ما – فوق تكوين حجر الطواحين الرملي، (التكوين الفحمي المتوسط) أو في عدم توافق فوق التكوين الفحمي الأسفل، أو تكاوين أكثر قدماً. وبعض حقول الفحم الحجري مكشوفة تماماً مثل حقل جنوب ويلز، وبعضها جزء منه مكشوف والجزء الآخر مختبئ، كما هو الحال في حقل الفحم الحجري في يوركشير (شكل ٣٤)، وفيه يختفي الجزء الشرقي من الحوض تحت سمك متزايد من الطبقات الأحدث عمراً. والبعض الآخر من حقول الفحم الحجري مختبئ تماماً كما هو الحال في حقول كنت ودوفر.

وفي أنحاء عديدة من العالم، أثرت الحركات الأرضية لبناء الجبال في الطبقات الحاملة للفحم الحجري، فجمدتها تجميداً كبيراً وربما دفعتها فوق غيرها من الطبقات. وقلما يوجد – حتى في أقل حقول

الفحم الحجري في بريطانيا تأثراً بهذه الحركات – بضعة أميال مربعة تخلو من الانثناءات الكبيرة أو الفوالق التي تبلغ رميتها ١٠٠ قدما أو أكثر، وعلى هذا فمن الأهمية بمكان أن يتعرف الإنسان على مواضع طبقات الفحم الحجري لكي يتمكن من الحصول على صورة مجسمة ذات ثلاثة أبعاد، أو نموذج – بالحجم الطبيعي – لتركيب كل حقل من حقول الفحم الحجري، وبذلك يمكن وضع الخطة اللازمة لاستغلال الفحم. وقد ثبت أن التعرف على كل طبقة من طبقات الفحم على حدة بواسطة بقايا النبات، أمر عسير ولا يمكن الاعتماد عليه.



(شكل ٣٤)

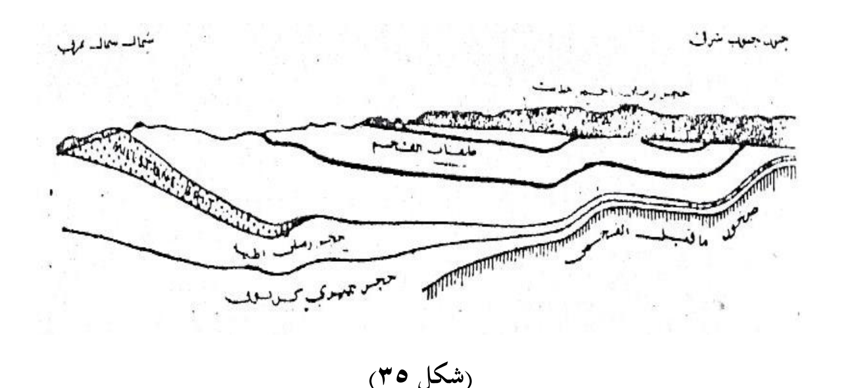
قطاع عرضي كروكي عبر حقل الفحم الحجري في يوركشير. يبين الشكل طبقتين فقط من أكثر من عشرين طبقة للفحم قابلة للاستغلال، وذلك لتأكيد التركيب وتضاؤل طبقات الفحم المنتجة نحو الشرق. وتظهر طبقات التكوين الفحمي الأعلى غير المنتجة منقطة. كما يوضح الشكل انغلاق الحوض نحو الشرق تحت غطاء – غير متوافق – من تكويني البرمى والترياسي مما يضع حداً لامتداد حقل الفحم الحجري. على أن زيادة سمك الغطاء (المتوقف على الميل) قد يضع حداً لإمكان استغلال الفحم الحجري قبل انتهاء الحوض.

وقد يساعد البحث عن البذور المجهرية الذي تجرى دراسته الآن، على التعرف على طبقات الفحم، على أن الطريقة الأكثر اعتماداً هي

تعرف عالم الإحاثة بثاقب نظره على الطبقات الرقيقة المختلفة من صخر الطين الصفحي الذي يحتوي على حفريات بحرية، وعلى رخويات المياه العذبة، في الجزء العلوي من طبقة الفحم الحجري، أو فيما يتخللها من طبقات الطين الصفحي. وعلى وجه العموم، يمكن التعرف على الصخور الرملية وطبقات الفحم الحجري بواسطة تركيبها وتكوينها المخطط، ومقارنتها من حيث موضعها بالنسبة للمستويات الموجود بها حفريات. وإن خلو معظم الرواسب من الحفريات وتغير سمكها السريع عبر كل حقل من حقول الفحم، لما يجعل عملية التعرف على الطبقات الفحمية عسيرة حتى على الأخصائي. وفي الطبقات العليا من التكوين الفحمي، والتي ترسبت عندما كانت الأحوال تسير باطراد نحو القحولة، قد لا تنجح حتى طريقة التعرف على رخويات المياه العذبة. ومن المستحيل – في الوقت الحاضر – القيام بمقارنة دقيقة للطبقات في مساحات واسعة.

وقد بذلت محاولتان (لجنة الفحم عام ١٨٧١ وعام ١٩٠٥) لتقدير احتياطيات الفحم الذي يمكن استغلاله في بريطانيا. فمن الممكن قياس سمك ومساحة كل طبقة من طبقات الفحم في الحقول المكشوفة، كما أنه من السهل – نسبياً – حساب كميات الفحم الموجودة في الطبقات التي تعتبر صالحة للاستغلال. أما في حقول الفحم الحجري المختبئة، فهناك أشياء كثيرة غير مؤكدة، وبذلك لا يمكن الاعتماد على تقدير الاحتياطيات القابلة للاستغلال. ومن الطبيعي أنه كلما ازداد الكشف عن حقل من حقول الفحم الحجري ازدادت دقة التقديرات، أما فيما يختص بالمنطقة المختبئة في شرق يوركشير ونونتجمهم ولنكولن

شير، فإن تقديرات لجنة الفحم لعام ١٩٠٥ قد فاقت كثيراً التقديرات الأولى التي قامت بعملها اللجنة السابقة بكثير من التحفظ، وإن المرء ليتمنى أن يكون تفاؤله في موضعه. ومن القطاعين العرضيين (الشكلين ٣٤، ٣٥) يمكن تقدير العوامل الواجب أخذها في الاعتبار، ويمكن – باطمئنان – استخدام اختلافات ميل طبقات الصخور الواقعة فوق التكوين الفحمي في تقدير سمك هذا الغطاء غير المتوافق. وقد ينبئ الميل الإقليمي للطبقات الحاملة للفحم عن شكل الجزء المختبئ من الحوض. على أنه من المتوقع وجود فوالق وتجاعيد على مقياس مشابه لمثيلاتها في المناطق المكشوفة. ويمكن فقط الاشتباه في وجود نتوءات من الصخور القديمة تبرز على هيئة جزر وسط دلتا مستنقع الفحم، من العلاقات الموجودة بين التكوين الفحمي وما تحته من صخور، ومن المعرفة العامة للجغرافيا الطبيعية للمنطقة موضوع البحث إبان العصر الفحمي.



(شكل ٣٥)

قطاع عرضي عام عبر حقول الفحم الحجري في ليستر وجنوب داربي، يبين التناقص في سمك صخور التكوين الفحمي عند كتلة صخور تكوين ما قبل الفحمي إلى الجنوب. مأخوذ ومبسط عن نشرة فترة الحرب للمساحة الجيولوجية رقم ٢٢ "حقل الفحم الحجري في ليستر وجنوب داربي شير".

ويوجد في مصر طبقات من اللجنيت في الحجر الرملي النوبي في أماكن عدة من القطر، لم يثبت بعد إمكانية استغلالها اقتصادياً. وأما الفحم المكتشف في الآبار الاستكشافية عند عيون موسى، فهو من النوع البتيوميني، ولم يثبت بعد صلاحية هذا أيضاً للاستغلال.

الحديد

لا تقل أهمية موارد خامات الحديد عن الفحم الحجري من ناحية ضرورتها للصناعات الثقيلة. وعنصر الحديد يلي عنصر الألومنيوم من بين جميع العناصر المعدنية من حيث سعة انتشاره. ولا يخلو تماماً من عنصر الحديد سوى صخور قليلة، ومثل هذه الصخور ومنها الصلصال الصيني ورمال الزجاج والمواد الحرارية قد تصبح – تبعاً لذلك – ذات أهمية اقتصادية. ولكي يكون خام الحديد صالحاً للاستغلال، يجب أن تكون نسبة الحديد عالية، وأن تكون المعادن المقترنة به ذات فاعلية، ويسهل التخلص منها خلال عملية الصهر. وتحتوي معظم خامات الحديد على المعدن في هيئة أكاسيد أو كربونات أو سيليكات، ولا تقل نسبة فلز الحديد فيها عن ٢٠% والتصنيف المألوف لخامات الحديد هو تقسيمه إلى خامات راسبة، وخامات مبلورة، وخامات حلت محل مواد أخرى.

والخام الراسب عبارة عن مادة راسبة من الأوكسيد المائي أو الكربونات أو السيليكات، تكونت بترسيب جزء من طبقة من الرواسب، أو في بعض الحالات كلها، أما في حالة الخام الذي حل محل مادة

أخرى، فإن الحديد يأتي فيما بعد على هيئة محاليل تتفاعل معاً، وتحل محل المادة الأصلية التي يغلب أن تكون صخرا جيرياً. وهناك أيضاً خامات من الماجنتيت عالية الدرجة، تكونت عند درجات حرارة عالية تبلور الفائض من الحديد في الصخور النارية أو المتحولة، وهذه الخامات ذات أهمية عظمى في السويد وروسيا وشرق أمريكا.

خامات الحديد الراسبة: تحتوي معظم خامات الحديد الراسبة أو الطباقية الموجودة عند سطح الأرض على حديد في هيئة أوكسيد حديديك مائي هو الليمونيت (ح٢ أ٣. ن يد ٢ أ). وفي الأعماق وعندما يكون الخام موجوداً في صخر طيني صفحي وهو صخر غير نفاذ، فإن كربونات الحديدوز (سيديريت: ح ك أ٣)أو سيليكات الحديدوز (شامو زيت) تحتفظ بحالتها غير المؤكسدة التي ترسبت عليها في الأصل.

والغالب أن توجد طبقة خام الحديد في مناطق يكون فيها ميل الطبقات ضئيلاً، ومن المألوف أن يستغل الخام من محاجر كبيرة مفتوحة (كما هو الحال في كوربي وفرندنجمهم وفي أسوان بمصر) بينما تنشأ المداخل وتفتح المغائر تحت الأرض عندما يصير سمك غطاء الخام من ثلاثة إلى عشرة أمثال سمك طبقة الخام، أو حينما يكون سقف طبقة الخام صلباً بدرجة لا تسمح بسقوطه (كما هو الحال في كليفولاند). ويكفي ذكر المثالين التاليين لتوضيح هذا الخام المتنوع:

١- أحجار الحديد الطينية: توجد أساساً هذه الخامات على هيئة رواسب عقدية من كربونات الحديدوز في صخور طينية صفحية ترسبت في مياه عذبة ضمن التكوين الفحمي والتكوين الطباشيري. والظاهر أنها ترسبت في مياه راكدة حمل إليها الحديد على هيئة محلول من أملاح الحديدوز، وقد اختزلت عن تجوية كيميائية مع وجود مادة عضوية محللة بكميات كبيرة في المستنقعات المجاورة. وتتكون الخامات الحديثة من حديد المستنقعات الموجودة بالسويد وغيرها من المناطق من ليمونيت مغري رسبته الطحالب البحرية. ومما هو جدير بالذكر أن مادة الليمونيت هذه قد تختزل. على قاع البحيرات وفي وجود مادة عضوية منحلة (أي بفعل البكتيريا تحت عوامل اختزالية). وتتحول إلى كربونات الحديدوز وهي السيديريت. وطبقة الأحجار الحديدية السوداء الموجودة في التكوين الفحمي المتوسط وخاصة الموجودة في مقاطعة ستافورد شير، وفي أسكتلنده تحتوي على ما يقرب من ٢٥٪ من المواد الفحمية، وإذا أحرقت هذه الأحجار الحديدية في أكوام، فإنها تتحول إلى هيماتيت يمكن صهره اقتصادياً. وعلى هذه الخامات بنيت مزاولة أعمال أفران الصهر البريطانية، وتكاد تكون جميع مصانع الحديد الواقعة في حقول الفحم الحجري موجودة هناك بسبب هذا التقليد المرعي. وفيما بين عام ١٨٧٠ وعام ١٨٨٠ كانت كمية الأحجار الحديدية الطينية التي استخرجت من التكوين الفحمي المتوسط وتم صهرها، تربو على اثنتي عشر مليوناً من الأطنان في كل عام. وفي الوقت الحاضر يقل ما يستخرج من هذه الأحجار من هذا المصدر عن عشر هذه الكمية.

ويقترن كل من أحجار الحديد الطينية وطبقات الأحجار الحديدية السوداء بطبقات الفحم الحجري بطريقة كانت تلائم – فيما مضى – أفران الصهر التي كانت تصهر الحديد المطاوع وتحوله إلى حديد مشغول.

٢– خام حديد كليفلاند: إن أحجار حديد كليفلاند الموجودة ضمن طبقات اللياس المتوسط (التكوين الجوراسي الأسفل) في مقاطعة يوركشير، يمكن اتخاذها نموذجاً لمجموعة كبيرة من صخور السيليكات والكاربونات (شاموزيت– سيديريت) التي تكون – في الوقت الحاضر – أربعة أخماس مجموع الإنتاج البريطاني المحلي من الخامات. ويتكون هذا الخام من حبيبات بطروخية، وهي كريات من العقد الدقيقة تكونت من ترسيب كيميائي حول نواة مجهرية ملائمة في مياه مضطربة نوعاً متماسكة بمادة دقيقة. والحبيبات مكونة من معدن الشاموزيت وهي متماسكة بمادة مكونة من طين الشاموزيت وقطع الأصداف وحبات الرمال مع نسبة عالية من بلورات السيدريت الدقيقة المعينة الشكل. ويكون لون الصخر – فور استخراجه – ضارباً إلى الزرقة أو الخضرة المائلة إلى الزرقة، وهو لون مركبات الحديدوز.

إلا أنه عندما يتعرض للتجوية فإنه يتأكسد ويتحول إلى أوكسيد الحديديك المائي البني اللون. وليس هناك من دليل على أن الحديد حل محل مادة أخرى، بل بالعكس فهناك من الشواهد ما يدل على أن المعادن المكونة للخام موجودة كما تكونت على قاع البحر ويدل على

ذلك أيضاً تركيب هذه الخامات. ومثل هذه الحبيبات البطروخية – المكونة من كربونات الكالسيوم – ظاهرة مألوفة في كثير من الأحجار الجيرية.

وكيفما كانت المادة المكونة منها هذه الحبيبات، فإنه من الممكن دائماً اعتبار هذا النوع من التركيب دليلاً على حالة مياه ضحلة مضطربة أو حالة مستنقعات، تقوم فيها التيارات السفلية أو التيارات الخفيفة بدحرجة الحبيبات العقدية إلى الأمام ثم إلى الخلف بطريقة تسمح بنمو الحبيبات، وذلك بإضافة غلافات متجدة المركز عليها. أما تفاصيل التفاعلات الكيميائية الطبيعية التي أدت إلى ترسيب صخور الشاموزيت والسيديريت فلا تزال مجهولة.

خامات حلت محل خامات أخرى: يمثل هذه المجموعة من الخامات بصفة خاصة، رواسب الهيماتيت الموجودة في كمبرلاند وشمال لانكشير. ويوجد الهيماتيت ($ح_٢$ أ$_٣$) في عروق أفقية، وفي عروق وكتل غير منتظمة. ويوضح حلول الخام محل الحبيبات البطروخية وغيرها من التراكيب المميزة للحجر الجيري وجود خام الحديد بشكل ثانوي في هذه الحالة. ويكاد يكون من المحقق أن تكوين الخام قد حدث على مراحل متعددة، أولها ملء الفجوات الموجودة على امتداد الفواصل وسطوح الطبقات بالمياه المركزة المحملة بالحديد، يعقبها تشبع الحجر الجيري وتفاعله مع هذه المياه. وعلى أية حال، فهناك شيء من الجدل عما إذا كانت المياه الحاملة للحديد هي مياه حارة بركانية صاعدة من جوف الأرض، أو هي مياه سماوية هابطة، استخلصت ما تحمله من حديد من الغطاء المكون من الحجر الرملي الأحمر الجديد. والظاهر أن إحلال الحديد محل المواد الأخرى قد حدث فيما بعد

العصر الترياسي، ويدل على ذلك العلاقة الموجودة بين خامات الحديد والفوالق التي حدثت في ذلك العصر. ومما له مغزاه، وجود خامات حديد مماثلة – أقل حجماً – في مناطق أخرى لصخور جيرية من التكوين الفحمي (كما هو الحال في جنوب وشمال ويلز)، يعلوها أو يمتد بمحاذاتها دائماً صخور من الحجر الرملي الأحمر الجديد.

خامات الماجنتيت: يقترن معظم خامات الماجنتيت – سواء الموجود منها في شرق أمريكا أو في السويد – بصخور متحولة من النيس أو بصخور نارية. ودرجة التحول العالية لصخور جميع المناطق التي يوجد بها كميات ضخمة من الماجنتيت، تجعل البت في أصل هذه الخامات من الصعوبة بمكان. ويكاد يكون من المؤكد أن بعض صخور النيس من أصل رسوبي، وأن خامات الماجنتيت الموجودة بها ربما نتجت عن تحول طبقات من خامات الحديد. ومن ناحية أخرى، فربما تكون هذه الخامات قد حلت محل مواد أخرى نتيجة لتدخل محاليل ممعدنة فيما بعد، وهذه المحاليل تقترن عادة بتداخل الصخور النارية المجاورة. على أن صخوراً أخرى من النيس، هي صخور نارية متحولة. ومن الجائز أن تكون بعض خامات الماجنتيت المقترن بها قد نشأ أثناء عملية تنوع المجما عند تصلبها. وخامات الماجنتيت الموجودة في شمال السويد عند كيرونا وجليفار، من أعظم كتل الخامات الموجودة في العالم من حيث التركيز والضخامة. ففي كيرونا وحدها توجد عدسة طولها أربعة أميال، ٦٠% منها من الخام، ويقدر ما تحتويه منه بحوالي ٥٠٠ مليون طن. ويوجد أسفل هذه العدسة صخور من السيانيت المخطط، كما يعلوها صخور بورفير المرو، ويغطيها جميعاً رواسب من تكوين ما قبل الكامبري. وقد اختلف العلماء في منشأ هذه العدسة، فبعضهم يرى أنها

نشأت من تجمع بلوراتها من المجما، وبعضهم يرى أنها طبقات رسوبية من الخام ثم تحولها، بل إن البعض الآخر يرى أنها كتلة نارية تدخلت في الصخور.

وفي مصر أمثلة لكل هذه الأنواع، فخامات الحديد بأسوان من الأنواع الراسبة، بينما رواسب جبل غرابي بالواحات البحرية من الرواسب التي حلت محل الصخور الجيرية هناك. وأما خامات وادي كريم وأم غميس وأبي شداد وغيرها بالصحراء الشرقية، فهي من خامات الماجنتيت التي تكونت من تحول الرواسب الأصلية بالضغط والحرارة. ويوجد في كل هذه الأماكن كميات كبيرة من الخام.*

* هذه الفقرة كلها من وضع المترجم.

الفصل الحادي عشر

المعادن غير الحديدية وموارد المواد الكيميائية

أنواع وأمثلة من رواسب المعادن ذات القيمة الأصلية: الذهب، الفضة، البلاتين، النحاس، الرصاص، الزنك، النيكل، الكوبالت، الكرومبوم، القصدير، النتجتن، الموليبدينوم، المنجنيز، الزئبق، الألومنيون، المغنيسيوم، الرواسب الملحية، الفوسفات، الكبريت، البيريت.

تحتوي القشرة الخارجية للكرة الأرضية على وفرة من منتجات التجوية الكيميائية والميكانيكية التي يعاد ترسيبها على هيئة صخور راسبة، وقد أضيف إلى هذه الصخور إضافات متكررة نتجت عن تداخل أو تدفق أنواع من المجما التي صهرت مرة ثانية من المناطق السفلى للقشرة الحجرية. إن هذا الانتقال للمواد من باطن الأرض إلى سطحها لا يجلب الصخور النارية وحدها فحسب، ولكنه يجلب معها أيضاً آثاراً من مختلف المعادن التي تكون المواد الخام لمختلف الصناعات. وما المواقع المحلية التي تتركز فيها هذه الآثار من المعادن بدرجة كافية، إلا أجسام الخام التي يستغلها المعدنون. ويسهل بالمعاينة التحقق من أن الصخور النارية هي مصدر بعض هذه الخامات، وربما لا يتضح ذلك في خامات أخرى، وقد لا تكون هناك أية علاقة بين عملية التركيز وتكوين

الخام وبين النشاط الناري. ويمكننا أن نذكر على سبيل المثال للحالة الأولى أجسام الخام التي تركزت نتيجة للتبلور داخل المجما المصهورة، وهذا الخام قد يعتبر أساساً نوع غير عادي من الصخور النارية. ولتوضيح الحالة الأخيرة، فإننا لا نحتاج سوى الإشارة إلى خامات الحديد الطباقية أو الملح الصخري أو البوكسيت. وهناك تدرج مستمر بين هاتين الحالتين المتطرفتين. وعلى العموم، فإنه من غير المألوف أن يوجد الخام ملاصقاً للصخر الناري الذي صدر عنه؛ فقد ترسبت الخامات في معظمها من الانبعاثات – غازية كانت أو سائلة – المتصاعدة من المجما في مناطق تقل فيها درجات الحرارة والضغط عنهما في المجما. وهكذا يمكننا تخطيط تنوع رواسب الخامات فيما يلي:

خامات المجما: وهذه مشتقة مباشرة من المجما وتحتفظ بارتباطها معه.

خامات الغازات المتصاعدة: وهذه تنتج من الغازات المرتفعة الحرارة والمنبعثة من المجما بتفاعلها مع المنطقة المحدة للصخر الناري، أو مع صخور المنطقة الساخنة المحيطة به.

خامات المحاليل المائية الحارة المتصاعدة: وهذه نتيجة المحاليل المتصاعدة ذات درجات الحرارة العالية أو المتوسطة أو المنخفضة والمنبعثة من مجما آخذة في البرودة.

خامات المحاليل الهابطة: وتترسب هذه الخامات نتيجة للمحاليل الهابطة ومصدرها المياه السماوية، أو نتيجة للتجفيف.

خامات متبقية أو ناتجة عن التفتت: ينشأ التركيز في هذه الخامات عن إزالة المنتجات القابلة للذوبان أثناء عملية التجوية والتعرية.

خامات المجما

خام هذا النوع جزء لا يتجزأ من الصخر الناري الموجود به، وقد تكون عندما أخذ كل من الخام والصخر الناري في البرودة والتجميد. ولإمكان تكوين خام يمكن استغلاله، فإن من الضروري أن يكون تركيز المعدن النفيس قد حدث بطريقة أو بأخرى من طرق الانفصال. والظاهر أن عملية تنوع المجما هو الإيضاح المعقول، ليس من ناحية تركيز الخامات فحسب، بل من ناحية مدى ونوع الصخور النارية نفسها أيضاً. وبينما يمكن التعرف على نتائج هذا التنوع بالملاحظة المباشرة، إلا أن نظام العمليات المؤدية إليه لا يمكن الوصول إليه بغير الاستدلال والاستنتاج. ومن بين الأسباب المحتملة لهذا التنوع، الطرق المبينة فيما يلي:

١- عدم مزج السوائل داخل المجما. ومن المحتمل أنه بينما يكون ذلك غير ذي أهمية في عملية تنوع الصخور، فإن المعروف أن الكبريتورات والسيليكات لا يمزجان (مثل الزيت والماء)، وربما كان ذلك هو العامل الفعال في تجمع خامات الكبريتورات وانفصالها.

٢- التبلور. وهذا ما يحدث إما عند الأطراف الآخذة في البرودة مع تيارات حاملة، تغذى نمو البلورت عند الأطراف التي بردت بسرعة، أو بهبوط البلورات القاعدية الثقيلة التي تكونت في بادئ الأمر

تحت تأثير الجاذبية، وينتج عن ذلك ما هو معروف باسم "الانفصال والتجمع بالجاذبية".

٣– التنوع بالتصفية. وينتج ذلك من ضغط الجزء السائل خلال الشبكة الناشئة من البلورات التي تكونت في بادئ الأمر لإعادة التوازن الناتج من الضغوط الأرضية.

٤– فصل المجما للصخور وتمثلها. الحصول على مواد كيميائية خارجية بسبب تفاعلي المجما المنصهرة مع الصخور الملاصقة لها.

وقد تقترن المعادن ذات القيمة الاقتصادية إما مع بقية قاعدية أو مع مستخلص حمضي. ويوجد ضمن الأجزاء القاعدية المتجمعة عناصر كالبلاتين والكربون (الماس)، وأكاسيد مثل الماجنتيت والكروميت والكورندوم، كما يوجد بعض الكبريتورات. ومن هذا النوع خامات الماجنتيت الموجودة في كيرونا وغيرها في لايلاند بالسويد، ورواسب كبريتورات الحديد والنحاس والنيكل الموجودة في سد بوري بأونتاريو بكندا، ويوجد القصدير والتنجستن ضمن الصخور الحمضية.

وتقترن العناصر النادرة وكثير غيرها من العناصر ذات الوزن الذري العالي جداً أو المنخفض جداً بمعدن الميكا والسيليكات المعقدة وخاصة في عروق البجماتيت الخشنة التبلور التي تمثل الطور الأخير، وهو على الأرجح الطور المائي، لتداخل الصخور النارية الحمضية. و"كراسات" الميكا التي هي في الحقيقة بلورات منفردة، قد يبلغ

اتساعها ٨ أقدام أو أكثر في صخور البجماتيت الموجودة في كوردا ما بالهند، وهذه وأمثالها من صخور البجماتيت الخشنة تستغل من أجل الفلسبار الموجود بها وخاصة في كندا وفي الأورال.

فعل الغازات

إذا كان لمادة العرق تركيب يختلف عن الصخر الناري، وكانت قد ترسبت من محلول مائي وليست من مادة مصهورة، فيغلب أن تعزى إلى انبعاثات من المجما. ويتوقف كون هذه الانبعاثات غازية أو سائلة على الضغط والحرارة. ويكون الماء غازاً إذا زادت درجة الحرارة عن ٣٦٥º سنتيجراد مهما كان الضغط، إما إذا انخفضت درجة الحرارة عن ذلك، فإنها تبقى سائلة بالضغط الكافي. والرواسب المعدنية الناشئة عن فعل الغازات (خامات الغازات الصاعدة)، تنتج من "محاليل" مائية في الحالة الغازية، ولكن من العسير وضع حد فاصل بين المنتجات الناشئة عن فعل الغازات، وبين المنتجات الناشئة عن تفاعل المحاليل التي تصعد وهي في حالة سائلة.

وتشمل المواد المنبعثة من المجما – فيما عدا الماء – مواد صاهرة مثل الفلورين والكلورين والبورون والفسفور وغيرها، وهي إما مستخلصة أو حاملة. وعندما تهبط درجة الحرارة، قد تحدث تفاعلات مثل: ق فل ٤+ ٢ يد ٢ أ ← ق أ٢ (كاستريت أو حجر القصدير) + ٤ يد فل.

وفي مثل هذه الأحوال ينطلق حمض فعال يتفاعل مع الصخور النارية والصخور الأخرى المحيطة. وينتج من ذلك مجموعة مميزة من المعادن المقترنة بالخام "سبار" ومعادن أخرى موجودة في العرق. ويحتوي الفلوسبار والتوباز على الفلورين وصخر الأباتيت عبارة عن فلورو أو كلورو الفوسفات، والتورمالين والأكسينيت عبارة عن بورو السيليكات. أما الكوارتز والبيريت (كبريتور الحديد) والكالسيت، فهي معادن دائمة الوجود مقترنة بالخام.

ويكون فعل الغازات غير ذي أهمية عندما تكون مقترنة بالصخور النارية القاعدية (وهي في العادة تفتقر إلى المواد الطيارة والصاهرة)، ولو أن بعض رواسب الأباتيت توجد في بجماتيت من الجابرو في كندا. وفعل الغازات المقترنة بالصخور النارية الحمضية أكثر شيوعاً. وهناك الكثير من الرواسب المهمة مثل القصدير والنتجستن والموليبدينوم وكتل ضخمة من الكاولين (طين الصيني) تكون مقترنة مع بعض أنواع الجرانيت. ومن المرجح أن ثلاثة أرباع القصدير المتداول في التجارة يحصل عليه من الرواسب النهرية بواسطة جرفة بالكراكة وإعادة غسله (كما هو الحال في الملايو)، على أن الأصل في وجود عروق القصدير (كما هو الحال في كورنوال وفي بوليفيا) هو في العروق الناتجة من فعل الغازات في الصخور النارية الحمضية.

والغالب أن تملأ هذه العروق الكسور والشروخ التي تنشأ في الصخور المحيطة بالصخور النارية المتداخلة فيها حينما تأخذ الحرارة في

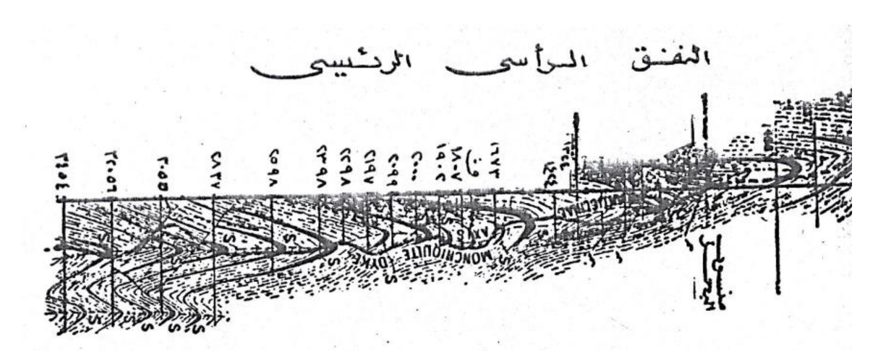
الهبوط، وفي حالات قليلة قد تتشرب المواد المتكسرة بالمعدن الثمين أو يحل هنا محل بعض الصخور الملاصقة.

خامات المحاليل المائية الحارة الصاعدة

تتكون هذه الخامات بتشرب الصخور لها أو بحلول الخامات محلها أو بملئها لفجوات الصخور، وفي هذه الحالة الأخيرة تشغل الخامات الفراغ الذي يوجد في الصخر، والذي كان يشغله قبلا الهواء أو الماء. وفي الأعماق الكبيرة يكون مثل هذا الفراغ مملوءًا أو مقفلاً عندما تبتدئ الصخور في التهشم نتيجة للضغوط، أما في الأعماق المتوسطة فإن الفراغ الناشئ عن شروخ الفوالق والفواصل وسطوح الطبقات والفراغات البينية الموجودة بين حبيبات الصخور المكونة من فتات الأحجار، وعن فقاقيع البخار في الحمم وما شاكل ذلك، قد يبقى مفتوحاً.

ومسالك المحاليل الممعدنة الأكثر أهمية هي الفوالق والفواصل وسطوح الطبقات. أما عروق الشروخ والعروق التي تشبه السرج، (شكل ٣٦) فهي أنواع خاصة تنشأ عن ملء الفواصل وسطوح الطبقات المتعرجة في الصخور المجعدة. أما حلول الخامات محل المواد الأخرى فيكون مهمًا في الأحوال التي تكون فيها – على سبيل المثال – المحاليل الصاعدة مخترقة شقوقاً في حجر جيري، تعزله طبقة غير نفاذة، فتضطر المحاليل إلى التحرك جانبياً. والصخور النارية والصخور المكونة – وفي الغالب – من حبيبات أو حصى المرو (الكوارتز) الشديد

المقاومة، هي أقل تأثراً بالإحلال، على أن التشرب في الشروخ الصغيرة المتفرعة من شرخ كبير فهو كثيراً ما يحدث.



(شكل رقم ٣٦)

قطاع في بئر "هلرز" الممتد لأعماق كبيرة في مناجم بنديجو. من منسوب ٧٨٨ قدماً فوق سطح البحر، إلى عمق قدره ٣٤٥٤ قدماً. (أي إلى منسوب ٢٦٦٦ قدماً تحت سطح البحر) ويبين مجموعة العروق التي على هيئة السرج (مبينة بالأسود "س") المكونة على امتداد السطح المحوري للطية المحدبة. وهناك سد رأسي مكون من صخر المونشوكيت (دوليريت قاعدي) يجرى تقريباً بمحازاة السطح المحوري. نقلاً عن كتاب "مجمل التركيب الجيولوجي" لمؤلفه أ.س. هلز.

توجد أنواع هذه الخامات ذات درجات الحرارة العالية – أصلاً – في منطقة التغيير للصخور المتأثرة بالحرارة (هالة الصخور المتحولة) المحيطة بالصخور النارية الجوفية المتداخلة، وقد تشمل المعادن المقترنة بالخام – الموجودة في هذه المنطقة – المعادن التي تتكون تحت درجة عالية مثل سيليكات الألومنيوم والكالسيوم (كالسيليمانيت أو الولاستونيت أو الجارنت)، أو مثل سيليكات الماغنسيوم (كالفورستيريت) والميكا الليثية والتورمالين، والعادة أن يوجد هناك ما يشير إلى درجة حرارة تقل عن درجة الحرارة الحرجة للماء.

والمعادن الأساسية للخامات في هذه المنطقة هي كبريتورات الحديد والنحاس والرصاص والزنك، إذ يغلب وجود البيريت (كبريتور الحديد) والجالينا (كبريتور الرصاص) والبلند (كبريتور الزنك). وقد يوجد أيضاً البزموث والأنتيموني والزرنيخ مع بعض الذهب والفضة. وهكذا نجد في مازابل بالمكسيك خام البيريت والجالينا والبلند مقترنة بصخور متداخلة من الديوريت، ونجد في كوريا النحاس والبزموث والذهب ومعها سيليكات الجير وميكا الفلوجوبيت والتورمالين مقترنة بجرانيت متدخل في صخور جيرية.

وتوجد أنواع هذه الخامات ذات درجات الحرارة المتوسطة عند أعماق تقل عن الرواسب السابقة، وتقترن – في العادة – بصخور نارية متدخلة متوسطة العمق، أو مع صخور بركانية. والمعادن التي تتكون عند درجات حرارة عالية غير موجودة، أما المعادن المقترنة بالخام والمميزة لهذا النوع من الرواسب، فهي الكلوريت والمرو (الكوارتز) والكالسيدوني والكالسيت والباريتس. والخامات النموذجية هي بيريت النحاس وبعض الرصاص والزنك مع آثار من الذهب والفضة.

وهناك ظاهرة مميزة، وهي ظهور الذهب مع النحاس والفضة مع الجالينا. وفي الغالب تتحد المعادن الأساسية مكونة كبريتورات، على أن هناك مركبات مألوفة تحتوي على الزرنيخ والتللوريوم والأنتيمون.

ومن الأمثلة المشهورة لهذه الرواسب، العروق التي تشبه السرج المكونة من الذهب والمرو (الكوارتز) الموجودة في بنديجو باستراليا، وخامات الرصاص والفضة في ليدفيل بكلورادو. أما رواسب النحاس الموجودة في ريو تنتو بإسبانيا فهي أجسام من البيريت النحاسية، حلت محل مواد أخرى في صخر من البورفير دون أي معادن مقترنة بها.

وتوجد أنواع هذه الخامات ذات درجات الحرارة المنخفضة عند أعماق بسيطة، وما كان منها مرتبطاً بأبخرة البراكين والنشاط البركاني الآخذ في التضاؤل، فإنه يكون عادة مقترناً بصخور الأنديسيت. ويندر أن تحل هذه الرواسب محل مواد أخرى، بل تبين العروق (وهي شروخ ملئت بالخام) التركيب المخطط المميز نتيجة لترسيب طبقات متعاقبة متماثلة من الخام على جانبي الشرخ. وأهم معادن خامات هذه المجموعة من الرواسب هي: الزئبق، والأنتيمون، وتوجد مقترنة بالكالسيدوني والأوبال وخاصة الزيوليت (وهي السيليكات المائية للألومنيوم والصوديوم والكالسيوم وغيرها). وكلها تشير إلى درجة حرارة لا تتعدى ٢٠٠º سنتيجراد.

ومن أمثلة رواسب هذا النوع، مناجم الفضة الشهيرة بالمكسيك ونيفادا، وكذلك مناجم الذهب في "كريل كريك" بكلورادو. وهناك خامات نشأت عن محاليل ذات درجة حرارة منخفضة، ولو أنها غير مرتبطة – بطريقة مرضية – بصخور نارية متدخلة أو بركانية. ومثال ذلك العروق الحاملة للجالينا والبلند الموجودة بالأحجار الجيرية في "داربي

شير" وفي "ألستون مور" وفي المنطقة الغربية الوسطى بالولايات المتحدة. والمعادن المقترنة بالخام في هذه العروق هي غالباً الكالسيت أو الدولوميت، ويملأ هذه العروق من الداخل معدن الباريتس في الأعماق ومعدن الفلورسبار بالقرب من السطح.

الإثراء الثانوي لخامات الكبريتورات

تتعرض رواسب الخامات – مثلها في ذلك كمثل أي صخر آخر – لعوامل التجوية الكيميائية في الطبقة الخارجية للقشرة الأرضية. ونحن نجد خاصة في خامات الكبريتورات أن التغيرات الثانوية من الأهمية بمكان من الناحية الاقتصادية. وحيث أن كمية الأمطار في الأجواء المعتدلة أكبر من التبخر، فإن هناك حركة هبوط عامة لمياه الأمطار في الطبقة التي تعلو منسوب المياه الأرضي؛ وعلى هذا يكون هناك منطقة تأكسد وتجوية فوق منسوب المياه الأرضي، بينما توجد منطقة تفاعل وتماسك في أسفله.

وتتأكسد خامات الكبريتورات – في منطقة التجوية – إلى كبريتات قابلة للذوبان، وهذه تذيب محاليلها الخامات الأخرى. والواقع أن المعدن الوحيد الذي لا يتفاعل خامه هو الذهب، إلا في حالة وجود المنجنيز، إذ يبقى الذهب في منطقة التجوية، ويتركز على هيئة نتف صغيرة أو خيوط من الذهب الحر. والنتيجة العامة لذلك هي تكوين خلطة ذات فجوات من المرو (الكوارتز) الصادئ المصبوغ بالحديد

تحت السطح تعرف باسم "جوزان" وهي عديمة الفائدة، فيما عدا الحالات التي يوجد بها الذهب. على أن المواد التي حملتها المحاليل الهابطة قد يعاد ترسيبها عند منسوب المياه الأرضي أو في منطقة التماسك، فعند منسوب المياه الأرضي تتصل الكبريتات الآتية من منطقة التأكسد بالكبريتورات أو بغيرها من عوامل الاختزال، وهناك قد تترسب جزئياً على هيئة كبريتورات. وهكذا تتفاعل كبريتات النحاس مع البيريت، لتكون كبريتور النحاسوز (كالكوسيت) وكبريتات الحديدوز:

٢ نح كب أ٤ + ٢ ح كب ٢ ← نح كب + ٢ ح كب أ٤ + ٣ كب

أو قد تتفاعل مع الكالكوبيريت لتكون كبريتور النحاس (كوفيلليت) وكبريتات الحديدوز:

نح كب أ٤ + نح ح كب٢ ← ٢ نح كب + ح كب أ٤.

وهكذا يحل خام النحاس محل جزء من كبريتور الحديد غير المطلوب، ويصبح الخام في هذه المنطقة أكثر غنى – في المعدن المجزي – من الخام الذي لم يتغير في الأعماق الكبرى. وتعرف المنطقة التي يحدث فيها إعادة الترسيب بمنطقة الإثراء الثانوي.

ويتوقف الإثراء الثانوي على ما يتم حمله من منطقة التأكسد؛ وعلى هذا فإن وجود "الجوزان" السابق الإشارة إليه (وهو الجزء الفقير في الخام) ليس ضماناً لوجود خام كبريتور جيد فيما تحتها. وإن عرقاً من

المرو (الكوارتز) المحتوي على الكثير من بيريت الحديد،[1] قد يتحول إلى كتلة هائلة من "الجوزان" دون أية فائدة للجزء الأسفل من العرق.

خامات المحاليل الهابطة

يأتي تحت هذا العنوان الرواسب المختلفة التي ترسبت من محاليل في المياه السطحية. ويحدث هذا الترسيب إما بالتبخر، فتصل المحاليل إلى درجة فوق التشبع في جميع الجهات، وإما بالتفاعلات الكيميائية الموضعية التي ينتج عنها محاليل فوق مشبعة موضعية.

التجفيف: يغلب أن تتكون الرواسب القيمة الناتجة عن جفاف ماء البحر من كلوريدات وكبريتات القلويات والقلويات الأرضية. وحينما يتركز ماء البحر بالتبخر، فإن المواد الذاتية فيه تترسب في ترتيب عكسي لدرجة ذوبانها. ويظهر أولاً غشاء من هيدرات الحديد يتبعه كاربونات الجير والمغنيزيا، ثم تأتي كبريتات القلويات الأرضية (أهمها كبريتات الكالسيوم في هيئة جبس أو الباستر إذا كانت باردة أو أنهيدريت إذا كانت أعلى من حرارة الدم)، وبعد كل هذا فقط تأتي كميات كبيرة من ملح الطعام. ويستمر تبلور ملح الطعام نقياً تقريباً إلى أن يتبخر ٩٥% من الماء، ثم يأتي خليط من كلوريدات البوتاسيوم والمغنسيوم مع كميات صغيرة من البروميدات واليودات والبورات.

[1] المسمى بذهب المغفلين لصفرة لونه ولعدم تفرقة العامة بينه وبين الذهب.

ولقد أوجد التجفيف الجزئي للبحار المقفولة في مراحل عديدة من التاريخ الجيولوجي رواسب ضخمة من الجبس وملح الطعام، على أنه ندر إن كان التبخر تاماً بحيث يسمح بتبلور أملاح البوتاسيوم والمغنسيوم. ورواسب "ستافسورت" بألمانيا هي المثل النموذجي لعمليات التبخر التامة، فهناك توجد أحجار رملية بها أثر حديد "روتليجند" ودولوميت "زكشتين" وأنهدريت مندمج، يعلوها طبقة سميكة جداً من ملح الطعام، فوقها طبقات من أملاح البوتاس، ويغطيها صلصال غير نفاذ. ويعلو ذلك، السلسلة غير الكاملة من الأنهيدريت وملح الطعام والطين، متكررة عدة مرات.

وبما أن المواد القابلة للذوبان تكون فقط حوالي ٥١% من ماء البحر فإنه ليس من السهل تفسير تكوين هذه الطبقات الكبيرة السمك من ملح الطعام أو حتى من الجبس. وبناء على "نظرية الحاجز" لأوكسينيوس، فإن مثل هذه الرواسب قد تكونت في بحار يفصلها حاجز مغمور عن المحيط المفتوح، مثل خليج قرة بوغاز في البحر القزويني. ويتعادل التبخر من هذا الخليج المقفول تقريباً بغمر متقطع من ماء البحر فوق الحاجز، وقد ينشأ عن ذلك تركيز عال جداً للملح يمكن الاحتفاظ به لفترات طويلة من الوقت. إن ملوحة مياه خليج قرة بوغاز تساوي ٢٨٤ جزءًا في الألف، بينما تحتوي مياه بحر قزوين على ١١,٩ جزءًا في الألف. وبالرغم من ذلك، فإن أملاح البوتاس الذائبة تترسب فقط حينما يبلغ التبخر ٩٧% من تمامه، كما أنه يمكن الاحتفاظ بها فقط عندما تغطيها فورًا طبقة من الصلصال غير النفاذ.

ونسبة النيترات في ماء البحر صغيرة وموسمية جدًا؛ ولهذا تقترن رواسب النيترات في العالم بالأبخرة البركانية المتصاعدة، أو بنتاج فعل البكتريا على التربة. ففي المنطقة المكتظة بالسكان من الجانجيز الأسفل، نجد أن البكتريا التي تحلل المواد العضوية وتحيلها إلى نيتروجين، هي السبب في تحويل المواد الحيوانية إلى نيترات، فلقد تشربت التربة بالماء منذ الأزمنة الغابرة، ففصلت عن طريق الذوبان والتبلور نترات البوتاس القابلة للذوبان لدرجة كبيرة من المواد الأخرى. ولكن رواسب نترات البوتاس في شيلي أكثر أهمية بمدى بعيد، وهي تقع بين الجبال الساحلية وجبال الأنديز في منطقة من أعظم المناطق المعروفة قحولة.

والراسب الذي يجرى استغلاله والمعروف باسم "كاليش"، تغطيه طبقة يتراوح سمكها من ٢٠ إلى٥٠ قدمًا، مكونة من الحصى والكبريتات العقدية والرمل والتربة. ويقال إن هذا الراسب نشأ عن إذابة أملاح النوشادر (والنوشادر من بين الغازات التي تتصاعد في أثناء الأطوار الأخيرة من النشاط البركاني) من مناطق الأنديز البركانية المجاورة بواسطة مياه الأمطار، وانتقالها خلال ما تحت التربة إلى منطقة التجفيف في الحوض المجدب. على أن هناك عوامل أخرى يستشهد بها لتفسير نشأتها، مثل تأكسد ذرق الطيور بفعل البكتريا، أو تفريغ الشحنات الكهربائية الجوية.

التفاعل الكيميائي الموضعي: إن خامات الحديد الطباقية والهيماتيت الإحلالي "الذي حل محل مواد أخرى" التي سبقت الإشارة إليها في الفصل المتقدم، هي من بين أهم الخامات التي مصدرها المحاليل الهابطة والناشئة عن تفاعلات كيميائية محلية. ويمكن تركيز أكاسيد المنجنيز بنفس الطريقة؛ لأن الكثير من الصخور النارية القاعدية والصخور المتحولة تحمل المنجنيز، الذي يحل محل جزء من الحديد في بعض المعادن الحديدية المغنيسية، وعندما تتعرض للتجوية فإن المنجنيز يسري في المحلول على هيئة سائل الغرو فيما يغلب، فإذا ما انساب هذا المحلول في المستنقعات أو البحيرات الضحلة التي يستخلص فيها ثاني أوكسيد الكربون بفعل النباتات، فإن المنجنيز يترسب على هيئة أوكسيد مائي.

وربما كانت رواسب الكبريتورات الواسعة الانتشار التي مصدرها المحاليل السطحية الهابطة أعسر فهمًا مما سبق. والخامات الرئيسية هي النحاس "كالكوبيريت وكالكوسيت" غالباً مع بعض النيكل، وأحياناً أقل مع الرصاص "جالينا" والزنك "بلند". وتوجد هذه الخامات في الصخور الطينية الصفحية مقترنة مع الدولوميت وفي الأحجار الرملية الحمراء وفي أنواع من الطفل؛ ففي إنجلترا يوجد البلند والكالكوبيريت في صخور الإردواز الطفلية في التكوين البرمي، كما توجد متأكسدة على هيئة كربونات في الحجر الرملي من التكوين الترياسي في "ألدرلي أدج" بمقاطعة تشيشر، ولكنها ليست ذات أهمية اقتصادية. أما خامات "مانسفيلد" التي يجرى استغلالها في ألمانيا من قديم الزمان، فالمعتقد

أنها ترسبت في حوض مقفول في بيئة من المواد العضوية المتحللة. هذا وتوجد آثار من نفس هذه المعادن في الصخور البركانية المجاورة، وقد يكون لخامات الطبقة الحمراء مثل هذا المنشأ.

وأخيراً، نرى أنه من الواجب الإشارة إلى الفوسفات الناتجة من المحاليل السطحية الهابطة.

تتراكم الفوسفات الأصلية على هيئة ذرق الطيور، وتتحول الرواسب المسماة "بالجوانو" – في طبقات سميكة جداً – فوق الصخور الشاطئية التي تتردد عليها الطيور البحرية في جزائر المحيط في المنطقة شبه الاستوائية. وهي عبارة عن خليط من الفوسفات والنيترات والكربونات، فقدت منه الأجزاء القابلة للذوبان أو الطيارة أثناء تراكمه. وقد تسري الفوسفات – فيما بعد – في محلول ثم تحمل إلى ما تحتها من الصخور المرجانية أو الصخور البركانية حيث تتفاعل معها، وينتج عن ذلك صخر الفوسفات بالإحلال.

خامات متبقية أو ناتجة عن التفتت

سبقت الإشارة إلى بعض الرواسب المتبقية المهمة في الفصل الخاص بالتربة، وقد اتضح فيه أن الصخور السيليسية في المناطق شبه الاستوائية قد تتجوى بحيث تزال جميع أجزائها فيما عدا الأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم، تاركة وراءها مساحات شاسعة من اللاتيريت والبوكسيت.

وبهذه المناسبة نود أن نؤكد أن البوكسيت هو خام الألومنيوم المفضل، أما اللاتيريت فقد يستعمل كخام للحديد. والخامات الناتجة عن التفتت عبارة عن رمال وحصى – حديثة أو قديمة – قد تحمل معادن ذات أهمية اقتصادية، ركزت طبيعياً بسبب مقاومتها لعوامل التجوية، ولارتفاع ثقلها النوعي. ويبقى المرو "الكوارتز" وميكا المسكوفيت فقط من بين جميع أجزاء الصخور النارية دون أي تغيير بالتجوية الكيميائية، على أن كثيراً من المعادن غير المهمة أو الثانوية تبقى أيضاً ثابتة. فالجارنيت والماجنتيت والزيركون والتورمالين والتوباز وهي على هيئة حبيبات صغيرة جداً أو بلورات دقيقة، شائعة الوجود وتجد طريقها إلى معظم أنواع الرمال.

أما الكاسيتريت "أوكسيد القصدير" والمونازيت "وهو مصدر الثريوم والسيريوم" والذهب والبلاتين والماس، فهي معادن ثابتة ذات أهمية اقتصادية، وغالباً ما تستخلص من الرواسب المكونة من فتات الصخور. وتستغل هذه الرواسب أينما كان التركيز كافياً، وتعرف "بفتات الصخور المحتوية على معادن ثمينة". والرواسب الشهيرة المحتوية على الذهب في "نوم" بألاسكا، والحصى المحتوي على الماس في جنوب غربي إفريقيا، عبارة عن رواسب شاطئية قديمة. أما قصدير الوديان وذهب الطمي فإنهما يصدران غالباً عن رواسب الأنهار ومجاري المياه، ويوجدان في بعض الأحيان في رواسب قديمة من الحصى، تغطيها صخور من الحمم كما هو الحال في بنديجو وسييرا نيفادا.

الذهب: توجد كميات قليلة من الذهب منتشرة في عروق تبعد كثيراً عن حدود الصخور النارية المتداخلة، ولكنها تنتمي إلى هذه الصخور بطريقة ما، والمحاليل الباطنية التي رسبت الذهب قد رسبت معه الكثير من المرو (الكوارتز) وبعض معادن الكبريتورات والكلوريت والكالسيت عند عبورها للشروخ الموجودة بالصخر، والمحيطة بالصخور النارية. ومنذ فجر المدنية كان الحصول على كتل الذهب من فتات الصخور المحتوية على المعادن الثمينة المنقولة من مثل هذه العروق، شائعاً كأي فن صناعي آخر. ولا تزال فتات الصخور المحتوية على المعادن الثمينة وما تستخرجه الكراكات، تمدنا بنصف كمية الذهب الذي يستخرج خارج جنوب إفريقيا وكندا. وقد تكون العروق المعروفة باسم "بانكت" في جنوب إفريقيا، قد نشأت من فتات الصخور المحتوية على معادن ثمينة ضمن الرواسب الشاطئية في عصر ما قبل الكامبري، التي أصبحت الآن صخوراً من الكلونجلومرات. على أنه قد أعيد توزيع الذهب في معظم هذه العروق (بانكت) بواسطة المحاليل الساخنة الهائمة. والذهب في معظم العروق ذهب طبيعي، على أنه قد يوجد في بعض الأحيان مختلطاً على هيئة تللوريد مع كبريتورات الزرنيخ والأنتيمون.

ولقد زاد ما استخرج من الذهب من عروق "الراند" في جنوب إفريقيا عن ثلث ما استغل من الذهب في القرن الحالي، وذلك بالتعدين بمقياس كبير حول حافة منطقة تعادل في مساحتها حقل الفحم في جنوب ويلز. وقد امتد التعدين تدريجياً من سطح الأرض على طول الميل

إلى عمق يصل في بعض المناجم إلى أكثر من ٨٠٠٠ قدم. وفي عام ١٩٤٠ قام مشروع "كراون مينز" – أي مناجم التاج – باستخراج مليون أوقية من الذهب، وذلك باستخلاصها من طحن أربعة ملايين طنا من الصخر. وهناك سبعة مناجم أخرى – وكلها لا تبعد عن جوهانسبرج بأكثر من ٣٠ ميلاً – ينتج المنجم الواحد منها نصف مليون أوقية من الذهب في العام الواحد. ويجري تعدين العروق الحقيقية بنشاط كبير في منطقة "بركيوبين" في أونتاريو الشمالية، وفي هذه المنطقة يزيد إنتاج منجم هولنجر عن نصف مليون أوقية، كما يزيد إنتاج مناجم ليك شور ورايت هارجريفز وماكنتير وكيركلاند ليك ودوم مجتمعة عن مليون أوقية.

والعادة أن تعتبر عروق الذهب غنية إذا ما احتوت على نصف أوقية من الطن من الصخر. ويعالج أكثر من ٢٠٠ مليون طن من الصخر لاستخلاص ٤٠ مليون أوقية (١٥٠٠ طنا) من الذهب، تستخرج وتباع للحكومات في كل عام.

ويوجد الذهب في مصر في عدة مناطق متباعدة في الصحراء الشرقية، وأهمها فطيري وسمنة والعريدية وعطا الله وأم الروس والبرامية ودنجابش وساموط وحميش والسكري والخجلية وبيطان وكوربياي وحيمر وأم جاريات وسيجا وأم الطيور والسد. ويستخرج الذهب حالياً من مناجم السد*.

* هذه الفقرة من وضع المترجم أضيفت لإتمام الفائدة.

الفضة: لقد انتهى استعمال الفضة كأساس للنقد، وذلك باستثناء البلاد البدائية. وللاحتفاظ بقيمتها في مواجهة الإنتاج الحالي، فإن الولايات المتحدة الأمريكية تقبلها من المنتجين المحليين وتختزن منها ما يزيد على ١١٠,٠٠٠ طن في حالة تعطل. وكثيراً ما يقترن بعض الفضة بالذهب الطبيعي، ولكن يوجد معظمها على هيئة كبريتور (أرجنتيت) مختلطة بالجالينا، وتستخلص الفضة من الرصاص المصهور. وتوجد الفضة – في بعض الأحيان – في عروق صغيرة في الصخور النارية مع زرنيخيد الكوبالت، كما هو الحال في مقاطعة كوبالت بكندا. وفيما مضى، كانت مناجم الفضة والرصاص المهمة تشمل فقط العروق والمسطحات الموجودة في الحجر الجيري بعيدة عن مصادرها من الصخور النارية المتداخلة، بينما أهملت الخامات المعقدة لتعسر معالجتها. وأخيراً وعندما ظهرت الطرق الحديثة لتركيز الخام، أمكن بنجاح معالجة أجسام كبيرة من خامات الكبريتورات المختلطة التي حلت محل صخور الشيست الموجودة بالقرب من الصخور النارية.

والفضة هي أحد المنتجات الثانوية في مصانع صهر الرصاص والزنك والنحاس. ويستخرج من مناجم الولايات المتحدة الأمريكية أكثر من ربع الإنتاج العالمي للفضة البالغ قدره حوالي ١٠,٠٠٠ طنا سنوياً. وتنتج كندا والمكسيك وأمريكا الوسطى والجنوبية نصف هذا المقدار، وتنتج مصانع الصهر في أوروبا وأستراليا واليابان الجزء الباقي، وتبيعه بأقل من نصف ثمن الفضة المحلية في الولايات المتحدة الأمريكية.

البلاتين: توجد معادن مجموعة البلاتين متناثرة بكميات قليلة في الصخور النارية فوق القاعدية، وقد وجد – في السنين الأخيرة – أنه يمكن استخراج صخور عروق "البريدوتيت" (صخور حاملة للزبرجد) على أساس اقتصادي من منطقة بوشفلد بالترنسفال وطحنها لفصل واستخلاص ٤٠,٠٠٠ أوقية من معدن البلاتين الثمين. وكانت معظم موارد العالم من البلاتين تأتي – فيما مضى – من الرواسب النهرية المحتوية على معادن ثمينة، والناتجة من تعرية صخور السربنتين وغيرها من الصخور النارية القاعدية، وبخاصة على جوانب جبال الأورال (وقد أنتجت أخيراً ١٥٠,٠٠٠ أوقية في السنة) وفي ألاسكا (كان الإنتاج ٣٠,٠٠٠ أوقية) وفي كولومبيا (٤٠,٠٠٠ أوقية). وتحتوي خامات البيريت النيكلية في سدبوري وأونتاريو على كميات صغيرة من معظم معادن البلاتين، وبعد فصل النحاس من النيكل بواسطة التحليل الكهربائي، نجد كمية البلاتين الموجودة في مركزات المعادن الباقية في سدبوري وفي النرويج معاً، تكاد تساوي كمية البلاتين المستخرجة من روسيا. كما يوجد مع هذا البلاتين معظم موارد العالم من البلاديوم والراديوم والروثينيوم والأريديوم والأزميوم.

النحاس: يكوّن كبريتور النحاس جزءًا صغيرًا من الكتل الضخمة للبيريت التي تحل محل صخور البريشيا المجاورة للصخور النارية المتداخلة المتوسطة الحموضة. ويغلب أن تقترن خامات النحاس مع صخر البورفير. وعروق المرو الناشئة عن المحاليل المائية الحارة الصاعدة والتي تحمل بيريت النحاس مع البلند والجالينا أوسع انتشارًا.

ولقد جمع الإنسان من "الجوزان" المتخلف عن تعرية بروز هذه العروق في العصور السالفة الملاكيت (كربونات النحاس) ليصنع منه البرونز.

وتكون عروق النحاس في الجزء الواقع بين سطح الأرض ومنسوب المياه الأرضي، إما مفتقرة إلى النحاس أو غنية به بسبب الإثراء الثانوي؛ ولهذا توجد في هذه الأعماق المتوسطة الجيوب الغنية بمعادن النحاس التي يسيل لها اللعاب. وتعتبر خامات النحاس الأولية غنية إذا ما احتوت على ١,٥٪ من النحاس، أما الصخور – نارية كانت أو راسبة – التي تحتوي على نصف هذه النسبة من النحاس، إما على هيئة كبريتور أو على هيئة كربونات (وليست خليطاً من الأثنين)، فإن استغلالها يكون مجزياً إذا كان حجمها كبيراً.

والطلب العالمي للنحاس في ازدياد مستمر، وهو يربو – في الوقت الحالي – على ٢,٥ مليون طن في السنة، وتنتج أمريكا وتستخدم أيضاً باستمرار أكثر من نصف هذا المقدار. وأكبر شركات النحاس التي تعمل الآن، هي مجموعة كنيكوت ولها مصانع للصهر في يوتاه ونيڤادا ونيومكسيكو، وتعالج نحو ٤٠ مليون طنا من الخام في السنة، لكي تنتج حوالي ١٠٠٠ طنا من النحاس في اليوم الواحد. وهناك شركات أخرى منها فلبس– دودج، وأنا كوندا، وتعمل في نفس المنطقة السابقة شركة النيكل الدولية في سدبوري بأونتاريو، وشركات براذن وشيلي في الأنديز، ومجموعة شمال روديسيا (روكانا، روان أنتيلوب، موفيوليرا)، وكانتجا في الكنغو البلجيكية، وكلها من عمالقة

الشركات المنتجة للنحاس، والإنتاج السنوي لكل منها يزيد كثيراً عن ١٠٠,٠٠٠ طن من معدن النحاس النقي. وقد استغل قدماء المصريين النحاس من وادي سمرة بشبه جزيرة سيناء ومن الصحراء الشرقية. وتوجد خامات النحاس في وادي عربة وفي جبل دارة، وتوجد مناجم الذهب في أم جاريات وحميش ودنجاش وفي جبل أبو حماميد ووادي أم سميوكي بالصحراء الشرقية*.

الرصاص والزنك: توجد المعادن التي تحتوي على الرصاص والزنك متلازمة في العادة. وفي الأزمنة السابقة كانت الجالينا ذات قيمة فقط عندما يمكن التقاطها باليد في حالة نقية، وكذلك الزنك حيثما يكون متأكسداً إلى معدن الكلامين في منطقة التجوية. وتحمل المحاليل المائية الساخنة رصاصاً أكثر نسبياً من الزنك كلما بعدت عن مصادرها؛ ولهذا فإنه يمكن الحصول على كثير من الرصاص وقليل من الزنك من عروق الفلوسبار والبارتيس الرفيعة التي تملأ الفواصل والجيوب الموجودة في سطوح الطبقات المفتوحة في الأحجار الجيرية، والتي – على ما يظهر – لا تجاور أي صخر ناري. وتوجد المناجم في داربي شير وفي دورام بإنجلترا في مثل هذا النوع من الخام، والمناجم التي تنتج ثلث الإنتاج العالمي للرصاص والزنك في ميسوري وغيرها في وادي المسيسيبي وعلى امتداد جبال الروكي في الولايات المتحدة الأمريكية وفي المكسيك، هي أيضاً من نفس النوع.

* هذه الفقرة من إضافات المترجم.

وتنتمي أجسام خامات الرصاص والزنك الأخرى إلى مناطق أكثر عمقاً وأعلى حرارة، تدخل ضمن منطقة التحول بالحرارة. وغالباً ما تحل هذه الخامات محل صخور متبلورة غير الصخر الجيري، ويكون حجم بعض هذه الأجسام ضخماً، فقد يكفي ستة منها لتزويد نصف العالم باحتياجاته. وقد أنتجت مناجم "بروكن هل" بأستراليا الجنوبية ٥٠ مليون طنا من الرصاص في مدى خمسين عاماً. كما أنتجت في السنة السابقة للحرب العالمية الثانية ربع مليون طنا من الرصاص المصحوب بالفضة، و ١٥٠,٠٠٠ طنا من الزنك. ويكاد منجم كمبرلي (كولومبيا البريطانية) أن يعطي نفس هذا الإنتاج. وتستوفي الإمبراطورية البريطانية جميع احتياجاتها من الرصاص والزنك من هذا المنجم الأخير، بالإضافة إلى مناجم "فلن فلون" بمانيتوبا و"نوراندا" بكويبك و"بودوين" ببورما. ويستغل القليل جداً من أجسام الخامات الكبيرة أساساً مناجم للزنك، مثال ذلك منجم "فرانكلين" بنيوجيرسي ومنجم "بوشانس" بنيوفوندلاند، ولكن في غير هذين المنجمين يفصل البلند (خام الزنك) ويعتبر إنتاج ثانوي، أو قد يلقى جانباً إذا كان المنجم صغيراً. ويقل الاستهلاك العالمي للرصاص عن ٢ مليون طن في السنة بقليل، أما استهلاك الزنك فينقص عن هذا المقدار بحوالي ١٠٪.

وفي مصر استغل الرومان خامات الرصاص من جبل الرصاص على شاطئ البحر الأحمر، وقد أعيد فتح هذا المنجم واستغل استغلالاً متقطعاً منذ عام ١٩١٢. وتوجد خامات الرصاص في وادي جاسوس ووادي زوج البحار ووادي حماد ووادي أم غيج وبالقرب من بير الرانجة

ووادي أم سميوكي وكلها بالصحراء الشرقية. كما توجد خامات الزنك مقترنة مع خامات الرصاص في وادي زوج البحار ووادي أم غيج ووادي أم سميوكي*.

النيكل: إن تسعة أعشار مورد العالم من النيكل يأتي من كتل البيريت المتجمعة الموجودة ضمن وبالقرب من سطح الصخر الناري القاعدي المتداخل "نوريت" في سد بوري بأونتاريو. وتمتد هذه الكتلة من الصخر الناري – دون انقطاع – فوق مساحة تزيد عن مساحة حقل الفحم الحجري في يوركشير. ويقال إن أجسام خام سدبوري قد انفصلت عن صخر النوريت، عندما كان لا يزال في حالة انصهاره. على أن الرأي المتواتر يحبذ تاريخاً متأخراً لتركيزها بواسطة فعل المحاليل المائية الحارة المنبعثة من الصخر حال بروده. وأجسام الخام العديدة، كل منها متماسك ومنفصل عن الآخر، وأحجارها كبيرة جداً. وهناك خمسة مناجم تعمل على مناسيب مختلفة، وتمتد من سطح الأرض إلى عمق يزيد كثيراً عن ١٠٠٠ ياردة. وقد أنتجت في عام واحد ما يقرب من ٨ ملايين طن من الخام، تم فرزها وأرسل نصف هذه الكمية إلى مصانع الصهر. ويوجد النيكل على هيئة معدن البنتلانديت (ني ح) كب متناثراً على شكل نتف أو حبيبات صغيرة في كتلة ضخمة من البيروتيت النحاس (ح كب ١٢). ويجب أكسدة كبريتور الحديد والتخلص منه في هيئة رغوة معدنية من هذا المعدن، قبل إرسال المخلوط المتبقي المحتوي على النيكل

---

* هذه الفقرة من وضع المترجم.

والنحاس إلى معامل التكرير. وتتراوح نسبة المستخلص من كل من النيكل والنحاس بين ١% و ١,٥% من الخام المستخرج من المناجم.

وقبل استخراج خامات سدبوري، كان المصدر التجاري للنيكل هو معدن الجارنيريت، وهو سيليكات نيكل مائية توجد على هيئة عقد في التربة المتبقية فوق بروزات الصخر القاعدي في نيوكاليدونيا. وقد استمرت المناجم في إنتاجها إلى أن اجتاح اليابانيون المنطقة. وقد استخرج منها أخيراً حوالي ١٠,٠٠٠ طن من النيكل، استخلصت من ربع مليون طن من الخام. وفي فترة ما بين الحربين العالميتين، كان هناك اهتمام دولي شديد بخصوص اكتشاف معدن البيروتيت، المحتوي على النيكل المقترن بصخر السرينتين، الموجود في "بتسامو" في منطقة التندرا بفنلندة. ولقد تم استخراج وتحضير خمسة ملايين طن من الخام المحتوي على ٣% من النيكل و ١% من النحاس. إلا أن المصانع التي كادت أن تبدأ في صهر هذا الخام قد دخلت في نطاق العمليات الحربية.

ويوجد خام النيكل المعروف "بالجارنيريت" في جزيرة الزبرجد بالبحر الأحمر، ويحتوي هذا الخام على حوالي ٥% من النيكل*.

الكوبالت: منذ الأزمنة الغابرة وفي كثير من البلاد، كانت بلورات الكوبالت الزاهية المستخدمة في تلوين الزجاج باللون الأزرق، تلتقط باليد من "جوزان" مناجم النحاس. وقد كشف عن استخدام الكوبالت في

* الإشارة إلى مصر من عند المترجم لإتمام الفائدة.

زيادة صلابة الصلب، حينما كان ينتج مع كل أوقية من الفضة المستخرجة من مناجم الفضة في منطقة كوبالت بأونتاريو، رطل واحد من معدن "السمالنيت" (زرنيخات الكوبالت) كإنتاج ثانوي.

ولبعض الوقت كان هذا الإنتاج الثانوي من الكوبالت من منجم الفضة كافياً لاحتياجات السوق. ولكن كثرة الطلب على الكوبالت شجعت معامل التكرير الأخرى على إعادة النظر في مخلفات معاملها. ويوجد دائماً بعض الكوبالت مع النيكل في سبائك النحاس. وقد اكتشف أن خامات النحاس في كانتجا بالكونغو البلجيكية، وفي روكانا بشمالي روديسيا، تحتوي على بضعة أعشار من ١% من الكوبالت. وهذه السبائك المستخلصة من هذين المصدرين، والمحتوية على نحاس وكوبالت وحديد، هي الآن المورد الأساسي للمغناطيس وللصلب المستعمل في القطع السريع. وقبيل الحرب العالمية الثانية، كان العمل يجري في استغلال مورد كبير جديد للكوبالت في مراكش. ورواسب الكوبالت غير معروفة في مصر*.

الكروميوم: منذ أمد بعيد كان استخدام الكرومات الصفراء وأوكسيد الكروميوم الأخضر معروفاً في صناعة البويات. وفي الخمسين عاماً الماضية، كانت تضاف نسبة صغيرة من الكروميوم الحديدي إلى أنواع خاصة من الصلب لتقويته. على أن أنواع الصلب غير القابلة للصدأ والتي

---

* الإشارة إلى مصر من عند المترجم لإتمام الفائدة.

تحتاج إلى كميات كبيرة من الكروميوم، لم تتقن إلا في غضون ربع القرن الماضي. والكروميت (كر٢أ٣.ح أ) وهو الخام الوافر الوحيد للكروميوم، يقترن دائماً بالصخور النارية الجوفية فوق القاعدية، وهي البريدوتيت والسرينتين. فحينما تجمدت هذه الصخور، انفصل الكروميت وتجمع في شكل عدسات وطبقات، وتعتبر هذه خامات إذا كانت كبيرة بدرجة كافية تسمح بتعدينها أو تحجيرها كصخر يتراوح ما يحتويه بين ثلث إلى نصف وزنه من أوكسيد الكروميوم (كر٢ أ٣). ومن المليون طن وزيادة من الخام الذي استعمل قبيل الحرب العالمية الثانية، انتجت إفريقيا ما لا يقل عن ثلث هذه الكمية (سيلو كوي وجريت دايك "السد الرأسي الكبير" بروديسيا الشمالية، ومنطقة بوشفلد بالترنسفال). وفي السوق الحرة قبيل الحرب مباشرة، كانت تركيا موّردة كبيرة للكروميت مثل روديسيا، وكانت روسيا تحجر الخام من جبال الأورال بدرجة أكبر. وفي نيوكاليدونيا، كان الفرنسيون يستخرجون باستمرار الكروميت إلى جانب النيكل. وقد استغل الأمريكيون واليابانيون – في السنين الأخيرة – مناجم عديدة للكروميت في منطقة السربنتين الممتدة على الساحل الغربي للفلبين. ومن موارد الخام الإضافية الكبرى، كوبا الشرقية لأمريكا، وألبانيا واليونان وأواسط البلقان لألمانيا. ويستخدم نحو ثلثي الكروميت المباع في صناعة الصلب غير القابل للصدأ وفلز الكروميوم، أما الثلث الباقي وهو أكثر الأنواع صلابة وأقلها هشاشة، ولو أنه لا يشترط أن يكون من الخام العالي المرتبة، فإنه يستخدم في صناعة الكروميت الحراري وقراميد الأفران المصنوعة من الماجنيزيت الكرومي. ويوجد

الكروميت في مصر في مناطق جبل حجر دنقاش وجبل أبو ضهر والبرامية والصباحية والغدير، وكلها بالصحراء الشرقية*.

القصدير: يوجد الكاسيتريت (أكسيد القصدير) بكميات صغيرة في عروق المرو (الكوارتز)، التي تقطع أطراف نوع خاص من الجرانيت، ويحتوي دائماً على التورمالين وأحياناً على التوباز. ومن ثنايا صخر مصدر المعدن وخارجه مباشرة، يستخرج الكاسيتريت مع الولفرام، وبعيداً عن ذلك، يقترن الكاسيتريت بالبيريت الزرنيخية، وببيريت النحاس مقترناً بالتورمالين. ويستخرج معظم خام القصدير على هيئة حبات وكرات من الرواسب المكونة من فتات الصخور المحتوية على معادن ثمينة مثل التربة الناتجة عن التجوية وحصى الأنهار، وفيها يتركز الكاسيتريت باعتباره معدناً ثقيلاً يقاوم التجوية عند نقله من العروق القاطعة لصخور الجبال المجاورة. ولهذا فإن ثلثي موارد العالم من القصدير "حوالي ١٥٠,٠٠٠ طنا في السنة" يحصل عليها باستعمال الكراكات، أو بغسل المواد السائبة الموجودة حول أنواع الجرانيت التي تكون أواسط سلاسل الجبال الممتدة من الهند الشرقية الهولاندية فالملايو فبورما فسيام فالصين.

ومنذ عصر البرونز، استخدمت "غسالات" القصدير في كورنوال في غسل مثل هذه المواد السائبة، كما قام الأولون من المشتغلين بتعدين

---

* الإشارة إلى مصر من عند المترجم للإحاطة بالموضوع.

النحاس باكتشاف عروق القصدير، وقد تتبعوها – على مر العصور – إلى أعماق تزيد على ١٠٠٠ ياردة تحت منسوب سطح البحر. وفي الشرق تقوم شركة باهانج وبيلتون وماوشي فقط بمزاولة التعدين من العروق "وكل منها ينتج حوالي جميع إنتاج كورنوال الذي يتراوح بين ٢٠٠٠، ٣٠٠٠ طن في السنة". أما مناجم القصدير المهمة حقيقة، فهي مناجم باتينو في بوليفيا. ومن المتعذر الآن لقوى الغرب الحصول على قصدير الملايو، ولذلك يجرى تعدين شامل على نطاق واسع للخامات المعقدة الحاوية على القصدير والفضة والزرنيخ والأنتيمون والنحاس، الموجودة عند الحدود بين بوليفيا والأرجنتين، والتي يجرى صهرها في أمريكا الشمالية. وتساهم الكونغو البلجيكية ونيجيريا وإفريقيا الشرقية الوسطى وتخوم إسبانيا والبرتغال بكميات لا بأس بها من قصدير رواسب الأنهار. ويوجد القصدير في الصحراء الشرقية المصرية في مناطق جبل مويلح وجبل العجلة ووادي أبو دباب ووادي مبارك*.

النتجستن

خلال مدة طويلة، كان معدن الولفراميت وهو النتجستات المزدوجة للحديد والمنجنيز، معتبراً بأنه سارق القصدير. على أنه منذ بدء استخدام الفارز المغناطيسي، والطلب المتزايد على كاربيد النتجستن باعتباره عامل القطع في آلات الصلب ذات السرعة الكبيرة، أصبح للولفراميت قيمة تماثل قيمة الكاسيتريت الملازم له. ونتجستات الحديد والمنجنيز

* الإشارة إلى مصر من عند المترجم للإحاطة بالموضوع.

"الولفراميت" أو نتجستات الجير "الشيليت" المتبلورة أصلاً في عروق البجماتيت، الصادرة عن الجرانيت الحامل للتورمالين، أكثر انتشاراً عن الكاسيتريت في الصخور المجاورة من نفس النوع، ولكنها أكثر تأثراً بعوامل التعرية، وتفقد في أثناء انتقالها إلى مسافات بعيدة، حيث تترسب في الرواسب المحتوية على المعادن الثمينة.

ولقد كان العالم يستوفي أكثر من نصف احتياجاته السنوية من حوالي ٢٠,٠٠٠ طن يركزها من سلاسل جبال مقاطعات "كيانجسي" و"كوانجتونج" و"هونان" في الصين. ومعظم هذا الخام على هيئة حصى يستخرج يدوياً من حصى الأنهار. غير أن المناجم الموجودة في العروق في "ماوشى" وفي "تايو" في مقاطعة "كوانجتونج"، أنتجت الكثير من الولفراميت مع القصدير. وتحت ضغط ظروف الحرب، شجعت الولايات المتحدة الأمريكية استغلال عروق البجماتيت الموجودة في كاليفورنيا ونيفادا وكلورادو. ومن بين مصادر الإنتاج المهمة في الوقت الحاضر، المناطق التي تحد حقول القصدير في بوليفيا والأرجنتين والحدود الشمالية بين إسبانيا والبرتغال، وإلى درجة بسيطة مناجم كورنوال.

وأهم المناطق التي توجد بها خامات النتجستن في مصر، هي العجلة والمويلح ووادي حمد والنويبعة وأبو دباب ووادي الدوب وجبل أبو فروة وأبو خريف وأم بسلة وجبل أم سليم، وكلها بالصحراء الشرقية المصرية*.

---

* هذه الفقرة من وضع المترجم.

الموليبدينوم: يكثر انتشار الموليبدينوم "مركب٢" بكميات صغيرة في صخور البجماتيت، داخل وخارج حدود الصخور الجرانيتية المتداخلة. ومنذ عشرة أعوام، كان المعتبر أن الموليبدينوم من المعادن الحرارية النادرة، إلا أن استخدامه في صناعة أنواع الصلب التي تقاوم الصدمات والحرارة والمستخدمة في آلات الصلب السريعة، كان سبباً في إنعاش الإنتاج، لدرجة أن كانت الكميات المطلوبة من الموليبدينوم تكاد تقارب الكميات المطلوبة من النتجستن. وقبل الحرب بسنة واحدة زاد الإنتاج على ١٥,٠٠٠ طن.

وتنتج الولايات المتحدة الأمريكية ٩٠% من الإنتاج الكلي للموليبدينوم، يستخرج نصفها من المناجم الواقعة في أعالي جبل كليماكس بكاليفورنيا، وهناك يتم تعدين ١٢,٠٠٠ طنا من صخر الجرانيت الدقيق الحبيبات "الميكروجرانيت" في اليوم، ثم يجري طحنها لكي يمكن فصل ما تحتويه من الموليبدينيت بالتعويم. ويتم فصل موارد كبيرة من الموليبدينيت من خامات النحاس بطريقة التعويم أيضاً في مصانع الصهر بالولايات الغربية من أمريكا. وفي النرويج وكذلك في مراكش تستغل صخور البجماتيت لاستخراج الموليبدينيت خاصة.

وتوجد الموليبدينيت في الصحراء الشرقية المصرية في مناطق جبل قطار وجبل أبو حربة ووادي الديب وجبل الدوب*.

---

* هذه الفقرة من وضع المترجم.

المنجنيز: يكاد يوجد بعض المنجنيز في كل نوع من الصخر وفي جميع البلاد. أما وجود المنجنيز على هيئة أوكسيد أو كربونات وبكميات تسمح بالاستغلال على نطاق واسع فأمر استثنائي. ويحدث أحيانا أن تستورد جميع مصانع الصلب في غرب أوروبا وفي أمريكا الخامات الضرورية لها بطريق البحر، فقد شحن أكثر من ٥ ملايين طن من المنجنيز في كل عام بهذه الطريقة في السنين العديدة التي سبقت الحرب، وقد خزن جزء كبير منها استعداداً للطوارئ. ويتراوح ما يحتويه خام المنجنيز المرضي بين ٤٥% و ٥٥% من الفلز.

وفيما قبل الحرب، كانت روسيا المنتجة الأولى للمنجنيز، وكانت تستغل الطبقات السفلى للتكوين الأوليجوسيني في أوكرانيا وجورجيا على نطاق كبير جداً؛ إذ كانت تستخرج من الطين والرمال أكثر من مليون طن من البيرولوسيت في السنة. وفي "نيكوبول" وهي على بعد ٢٠٠ ميل من مصب نهر الدنيبر في البحر الأسود، توجد طبقة خام المنجنيز في تجاويف في صخور نيس تكوين ما قبل الكامبري، التي تأثرت لدرجة كبيرة بعوامل التجوية. أما في هضبة "شياتوري" في سفح الجزء الجنوبي لجبال القوقاز فيما بين "بوتي" و"تفليس"، فإن طبقة المنجنيز تستقر فوق أحجار جيرية مندمجة من التكوين الطباشيري، ولا يمكن أن تكون قد نشأت محلياً. وفي مصانع المنجنيز الحديدي التي تتطلب أفرانها خام المنجنيز الصخري، فإنها تعتمد كثيراً في ذلك على الهند.

وقد صدرت المقاطعات الوسطى ومنطقة جنوب شرقي الدكان في الهند – في بضع سنوات – ما يقرب من مليون طن من الخام الصلب المستخرج من طبقات راسبة متحولة، تتخلل طبقات تكوين ما قبل الكامبري الموازية لها. وخام المنجنيز في ساحل الذهب أيضاً صلب في بعض أجزائه، ويستخرج من بين مجموعة من صخور النيس والشيست، وجزئياً من كتل سطحية محروقة، ويصدر من "سيكوندى" ما يقرب من نصف مليون طن سنوياً. وأغلب خام المنجنيز البرازيلي صلباً، ويقدر بحوالي ربع مليون طن تستخرج من منطقة "ميناس جيراس" من مجموعة صخور راسبة من التكوين ما قبل الكامبري. أما خام منجنيز جنوب إفريقيا، فيستخرج من طبقة في التكوين الفحمي لا تعلو كثيراً عن الأرضية الجليدية بأسفل تكوين البرمي الفحمي بالقرب من "كمبرلي"، والخام متكتل ولكنه لين متوسط الرتبة. ويقدر الإنتاج – فيما قبل سني الحرب – بحوالي نصف مليون طن سنوياً يصدر معظمها إلى ألمانيا. ويستخرج نوع مماثل لهذا الخام من شبه جزيرة سيناء من أسفل الصخور الجيرية في التكوين الفحمي. وهناك خام من المنجنيز أكثر ليونة تركزه "كوبا" وترسله إلى الولايات المتحدة الأمريكية، وترسل أيضاً الفلبين إلى اليابان خاماً مماثلاً. ولا يستغل محلياً في الولايات المتحدة إلا خام عبارة عن حديد منجنيزي يحتوي على أقل من ١٠% من المنجنيز. أما في بريطانيا فإن طبقات الخام الرقيقة الموجودة في صخور تكويني الكامبري والأردوفيسي في ويلز، فقيمها الاقتصادية قليلة. وتوجد خامات المنجنيز في شبه جزيرة سيناء في مناطق أم بجمة ووادي أبو قفص

ووادي لاجمان ووادي الشلال ووادي أبو حمامة ووادي نصيب ووادي أم تميم وشرم الشيخ، وفي الصحراء الشرقية في منطقتي جبل ألدا ووادي ماليك*.

الزئبق: الزئبق معدن محلي نادر، محدود التوزيع، ويوجد غالباً على هيئة سنابار "كب" تكون من الغازات الكبريتية المتصاعدة من المواد المنصهرة في باطن الأرض، أو من الينابيع الحارة، ولكنه لا يقترن بالبراكين الناشطة. ويستخرج معظم الزئبق – منذ الأزمنة العابرة – من منطقة "المادن" في إسبانيا أو من "منت أمياتا" ومن "أدريا" في شمال شرقي إيطاليا. وينتج كل من هذه المناطق حوالي ١٠٠٠ طن سنوياً. وينتج الجزء الشمالي الغربي من أمريكا مثل هذه الكمية، ولكن بتكاليف أكبر ومن أكثر من مائة منجم مبعثرة، معظمها في كاليفورنيا وبعضها في أوريجون ونيفادا. وتجرى الآن استعدادات لاستخراج الزئبق من المكسيك ومن "بحيرة بنشن" في كولومبيا البريطانية. وخامات الزئبق غير معروفة في مصر.

الألومنيوم: يحتل الألومنيوم – متحداً على هيئة سيليكات – المكان الثالث بين العناصر المكونة للقشرة الأرضية من حيث الوفرة، ولا يخلو منه من الصخور الشائعة سوى الكوارتزيت والحجر الجيري. ومع ذلك، فإنه حتى بداية هذا القرن كان فلز الألومنيوم شيئاً نادراً.

---

* هذه الفقرة من إضافات المترجم.

والألومنيوم هو العنصر المهم في الصلصال، ولكن الجهد اللازم لفصله عن السليكا كبير جداً، بحيث أن أنواع الصلصال التي يمكن اعتبارها خاماً للألومنيوم، هي فقط الأنواع المتبقية على سطح الأرض والتي فقدت السيليكا بتعرضها المستمر لجو استوائي حار أو لريح موسمية. وإنه لمن المهم أن تكون أحوال التجوية ملائمة، ولايهم كثيراً نوع الصخر الذي يتعرض لها.

ويستمد "البوكسيت" اسمه من "بوكس" في دائرة "فار" بفرنسا. ولقد كانت هذه المنطقة وأجزاء الريفييرا الإيطالية المجاورة لها تنتج نحو مليون طن في السنة من التربة القديمة، التي تتخلل الطفوح البازلتية في التكوين الأيوسيني. وفي الوقت الحالي تنتج غياناً البريطانية وسورينام بأمريكا الاستوائية كمية أكبر من صخر مماثل، وهو أيضاً من طبقات من التربة تتخلل الطفوح البازلتية. وتحت حكم النازي وإشرافه، استغل سطح عدم التوافق في تكاوين ما قبل الثلاثي في البلقان، الذي تأثر بالتجوية استغلالاً كبيراً، حيثما أمكن الوصول إليه بالسكة الحديد.

وقد استغل بخاصة في منطقة "بحيرة بالاتون" في هنغاريا، وجنوباً عبر يوغوسلافيا إلى اليونان. وقد أرسل من هذه المناطق ما يزيد على مليون طن من البوكسيت إلى النمسا وألمانيا في سني ما قبل الحرب، وفي نفس هذه الفترة كان العمل يجرى لتجهيز رواسب في الهند الشرقية الهولاندية وفي الملايو لتوريدها إلى اليابان. ويبلغ مجموع ما يرسل من البوكسيت إلى المصانع حوالي خمسة ملايين طن في السنة، يستخرج

منها حوالي مليون طن من الألومنيوم. ويصرف أكبر جزء من ثمن التكلفة على القوة الكهربائية، كما أن ثمن القلويات التي تستخدم في استخلاص الألومنيوم من البوكسيت يزيد كثيراً على ثمن الخام نفسه.

وبالنظر إلى الصعوبات التي تعترض نقل البوكسيت إلى مواقع محطات القوى الكهربائية المائية، فقد بدئ في إقامة المصانع لإستخلاص الألومنيوم من معدن النفيلين في روسيا ومن اللابرادوريت "فلسبار" في كندا وفي النرويج، ومن الكورندوم في السويد، ومن اللوسيت في إيطاليا. وتفصل جميع هذه المعادن من صخور نارية خشنة التبلور. وفي ألمانيا استخدم حامض الكبريتوز لإستخلاص الألومنيوم من الصلصال، ومن المرجح أن نسمع الكثير عن مثل هذه العمليات بعد انتهاء الحرب.

المغنيسيوم: والمغنيسيوم هو السادس في قائمة العناصر الرئيسية المكونة للقشرة الأرضية، إلا أنه يصعب فصله – مثله في ذلك مثل الألومنيوم – بسبب الثبات الملازم لمركباته. ويوجد المجنيزيت (مغ ك أ٣)، وهو الخام المفضل، وقد تركز بفعل المحاليل المائية الحارة المحلية على امتداد الشروخ في صخر السرينتين، أو يوجد في الصخر الجيري إذا أعيد تبلوره عند حافة منطقة تحول الصخور بعد تشربه بهذه المحاليل. والدولوميت – وهو الكربونات المزدوجة للجير والمغنيسيا – معدن وفير وواسع الانتشار، كما أن الأوليفين (ومن أنواعه الزبرجد) – وهو سيليكات المغنيسيا – جزء رئيسي من الصخور النارية فوق

القاعدية، وبالرغم من هذا فإن كلا من إنجلترا وأمريكا تستورد المجنيزيت لكي تستوفي إحتياجات صناعة الصلب بهما. وكلورور المغنيسيوم – وهو نتاج ثانوي من عملية فصل البوتاس من الماء الملح – مادة خام أيضاً تناسب مصانع الصهر التي تستخدم التحليل الكهربائي. وأخيراً – ولاستيفاء احتياجات الحرب – فإن هيدرات المغنيسيوم ترسب من مياه البحر في كل من إنجلترا وأمريكا، وبالرغم من أن تركيز المغنيسيوم في مياه المحيط لا يزيد إلا قليلاً على جزء في الألف، فإن تكلفة هذه العملية تقل عن تكلفة عملية فصل المغنيسيا من الولوميت أو السربنتين.

وقبل الحرب، كان المورد العالمي من المجنيزيت "النمسوي" المتبلور يستخرج من طبقات متحولة من الحجر الجيري في "ستيريا"، وفي الأطراف الشرقية لجبال الألب في النمسا، وفي الجزء الغربي من الكاربات في تشيكوسلوفاكيا، وبلغ الإنتاج من هذه المناطق حوالي نصف مليون طن. وقد انتجت المحاجر في جبال الأورال كمية مماثلة من مادة مشابهة ولكنها أقل نقاء. وكانت "مانشوكو" تورد نصف هذا المقدار.

ويوجد المجنيزيت المندمج غير المتبلور، الفائق النقاوة، المعروف بالنوع "اليوناني"، في عروق رفيعة تقطع كتل صخر السربنتين، وهو مفضل في الأغراض الكيميائية وفي صناعة الفلزات، وكان المصدر الرئيسي لمثل هذه المادة هو في "يوبويا" باليونان التي تنتج حوالي ١٥٠,٠٠٠ طنا في السنة، وتوجد مصادر لكميات صغيرة من هذا النوع في أمريكا وألمانيا وإيطاليا والهند وأستراليا.

الرواسب الملحية:

يجري تركيز الأملاح القابلة للذوبان بتجفيف ماء البحر أو أي ماء ملحي طبيعي آخر. ويتجمع ملح البحر عن طريق تجفيفه بواسطة الهواء في مساحات واسعة ضحلة على سواحل المحيطات في المناطق شبه الاستوائية وشبه الصحراوية. ولقد كان من جراء تبخير ماء البحر، أن بدأ تعدين الفحم الحجري لأول مرة في أسكتلندة وشمال إنجلترا. وفي وقتنا هذا، ولو أن مياه البحر الميت وغيره من بحيرات الملح الطبيعية الداخلية تتركز بمثل هذه الطريقة، إلا أن الكثير جداً من الملح يستخرج إما بواسطة التعدين، أو بإذابة طبقات الملح بواسطة مياه مضغوطة في آبار تحفر في هذه الطبقات، ثم الحصول على الملح المذاب فيها وتمثل هذه الرواسب امتدادات داخلية للبحار أو للمحيطات المتوسطة في الأزمنة الغابرة.

وملح الطعام (كلورور الصوديوم) مادة ضرورية يستهلكها الإنسان والحيوان، ولكن ما يستخدم منه في صناعة كربونات الصودا (رماد الصودا) يعادل أربعة أو خمسة أمثال ما يستهلك في الطعام. ويؤخذ ما يقرب من نصف الملح المستعمل من حفر الآبار وتزود به المصانع الكيميائية على هيئة محلول ملحي. وتستخرج الولايات المتحدة الأمريكية نحو مليوني طن من ملح الصخر سنوياً معظمها من ولاية نيويورك، كما تستخرج بالمضخات حوالي سبعة ملايين طن على هيئة محلول ملحي من ولايات ميشيجان وأوهايو وكنساس وغيرها.

وتستخرج ألمانيا مقداراً أكبر من الملح الصخري يقرب من ٢,٥ مليون طن، ولكنها وإلى عهد قريب لم تنتج سوى مليوني طنا من الملح على هيئة محلول ملحي في العام الواحد. ويغلب وجود رواسب الملح بين الطفلة الحمراء قريبة من وسط مناطق الطيات المقعرة. ومعظم طبقات الملح في بريطانيا – أمثال طبقات شيشير ودرويتويش وستافورد وفليتوود قد جف في العصر الصحراوي لتكوين الترياس الأعلى، أما طبقات ستاسفورت بألمانيا والرواسب الأخرى في شمال أوروبا فإنها تعلو الحجر الجيري المغنيسي وقد تكونت في الأطوار الأخيرة لجفاف البحر البرمي. وتوجد منتجات الأطوار الأخيرة للتبخر محفوظة بين الرواسب الطباقية لأملاح المغنيسيوم والبوتاسيوم في ستاسفورت وبينما كانت سلسلة جبال الألب ترتفع وسط البحر التيثي عزلت بعض أجزاء هذا البحر مثل بحر قزوين الحالي. وقد جف عدد كبير من هذه الأجزاء واحتفظ الآن في مواقعها في الألزاس وشمالي شرقي إسبانيا وبولندا والنمسا بالرواسب الملحية التي يستخرج منها البوتاس

وهناك نوع آخر جد مختلف من الأملاح القابلة للذوبان وهو ملح شيلي (ص ز أ ٣) الذي يباع بمعدل مليوني طن سنوياً برغم مواجهته منافسة النوشادر الصناعي وحمض النيتريك. ويعرف خام هذا الملح باسم "كاليش"، ويستخرج من تحت سطح الأرض مباشرة على طول واد داخلي في المنطقة الصحراوية من شيلي الشمالية، وقد سبقت الإشارة إلى الطريقة المرجحة لمنشأ هذا الملح.. والأيودات التي يصير فصلها

من المحاليل الأصلية أثناء عملية تنقية "الكاليش" بإعادة تبلوره، هي المصدر الأساسي لمورد العالم من الأيودين.

والبوراكس – أيضاً – من أملاح الصوديوم القابلة للذوبان. ويتبلور فقط أثناء الأطوار الأخيرة من عملية التجفيف. ويستخرج للآن، كمية صغيرة من البواركس من المياه الصاعدة مع الغازات الساخنة في توسكاني، على أن ٩٥% من الإنتاج العالمي (٣٠٠,٠٠٠ طنا سنوياً) يأتي من أمريكا من راسب تحت سطح الأرض، تكون في حوض بحيرة قديمة يحتل موقعها الآن "صحراء موجاف". وتستخرج بورات الصوديوم أيضاً من البحيرات الملحية في كاليفورنيا ونيفادا، وتأتي كميات صغيرة منها من الأرجنتين وتركيا، وتوجد – في كل هذه المواقع – الشواهد الدالة على وجود نشاط بركاني حديث في الأماكن المجاورة.

الفوسفات:

يوجد الأباتيت (فلورو أو كلورو فوسفات الكالسيوم) كمعدن ثانوي في كل نوع من الصخور النارية تقريباً، ولكنه لا يوجد مركزاً التركيز الكافي لصلاحيته للاستغلال المجزي، إلا في بعض صخور البجماتيت المقترنة بالصخور النارية القلوية المتداخلة في جوف الأرض. وتستغل مثل هذه الرواسب في أوتاريو وفي كويبك، ويورد ساحل صحراء أمريكا الجنوبية من زرق الطيور حوالي ١٥٠,٠٠٠ طن، في حين أنه في السنة التي سبقت الحرب، شحن من نورو وجزائر المحيط ما يزيد على مليون طن من صخر المرجان، الذي حوله زرق الطيور إلى صخر فوسفاتي.

وهناك جزائر أخرى بعيدة في المحيطين الهادي والهندي تورد أيضاً كميات ضخمة من صخر مماثل. وطبقات الفوسفات المنتشرة بأسفل التكوين الأيوسيني في إفريقيا الشمالية، أكثر قرباً للمستهلكين في أوروبا، ولقد كانت تونس في مركز هذه الصناعة، وشحنت خلال فترة عشر سنوات ما يقل قليلاً عن مليوني طن في كل عام. والفوسفات المصدرة من مركش آخذة في الازدياد، وقد بلغت مليون ونصف مليون طنا تقريباً. وقد أنتجت الجزائر ومصر حوالي نصف مليون طن.

وتقول الأخبار إن رصيد الفوسفات الطباقية في روسيا يسير جداً لا يصلح للاستغلال، ولهذا تقرر تجهيز الأباتيت من صخور البجماتيت في البراري الجليدية (التندرا) في "كاريليا" بمنطقة القطب الشمالي. وحديثاً، طحن في هذه المنطقة ١٠,٠٠٠ طن من الصخر المتبلور في اليوم الواحد. وقد وردت التقارير أن الإنتاج السنوي – خلال فترة طويلة – من صخر الفوسفات في أمريكا فهو حوالي أربعة ملايين طن، يستخرج معظمها من فلوريدا، ويستخلص الجزء الأكبر منها على هيئة حصى من غسل رواسب التربة المتبقية، ومن غسل الرمال والطين بعد استخراجها بالكراكات من البحيرات الساحلية ومجاري المياه الضحلة على امتداد الساحل. وقد كشف عن كميات ضخمة من صخر الفوسفات على جوانب جبال يونتا في يوتاه.

وفي الحالات التي يستخدم فيها عملية "بسمر القاعدية" في صناعة الصلب، فإن الفوسفيدات التي تكون قد اختزلت من فوسفات

حفريات أصداف القواقع الموجودة ضمن خام الحديد، أو ضمن الفحم الحجري المستخدم في الصهر، والتي تضاف إليهما بدون قصد، تحرق وتتراكم في الخبث النهائي. وتعرف هذه المادة – بعد طحنها – عند الزراع باسم الخبث القاعدي. ولو أن نسبة ١٥% من الفسفور في خام الحديد نسبة غير مرتفعة غير أن ما يستخلص من الفسفور من عشرة ملايين طن من الصلب سنوياً في ألمانيا لهو مساهمة مهمة لاقتصادها القومي. ومناطق الفوسفات في مصر هي كالآتي:

١– منطقة البحر الأحمر: سفاجه والحمراوين ونخيل والقصير.

٢– منطقة وادي النيل: حمامة وجبل القرن والسباعية والشراونة والمحاميد ووادي هلال.

٣– منطقة الصحراء الغربية: الواحات الداخلة والخارجة.

٤– منطقة شبه جزيرة سيناء: جبل سفاريات وجبل خشيرة*.

الكبريت:

يجري صهر مليوني طن من الكبريت سنوياً بواسطة بخار ساخن، يضغط في مواسير داخل آبار، توضع عند أطراف قباب الملح التي كشف عنها المشتغلون بالبترول قرب خليج المكسيك. وتوجد خمسة مصانع كبرى فقط لصهر الكبريت، أربعة منها في ولاية تكساس وواحدة

* الإضافات الخاصة بمصر من عند المترجم.

في ولاية لويزيانا، ويقوم كل منها بصهر ما يقرب من ٣٠٠٠ طن من صخر الكبريت يومياً. ويجرى استخراج بعض الكبريت – يدوياً – في جزيرة صقلية، حيث يتضح أنه تكوّن بسبب التفاعل الموضعي بين الزيت أو القار الهارب من مخزنه، وبين رواسب الجبس التي يقترن بها. ويكاد يكون من المؤكد أن مصدر الكبريت في قباب الملح الأمريكية هو نفس المصدر. ويستخرج بعض أنواع الكبريت الإيطالية الأخرى من فوهات وشروخ براكين الكبريت في مناطق البراكين الخامدة. ويوجد الكبريت في مناطق جمسا والغردقة وبير الرانجة بالصحراء الشرقية المصرية.

البيريت:

قبل أن تتحسن طريقة "فراش" لصهر الكبريت، كان صانعو حمض الكبريتيك يحصلون على ما يلزمهم من ثاني أكسيد الكبريت من تحميص بيريت الحديد أو – إذا كان ذلك ملائماً – بيريت النحاس أو كبريتور أي خام آخر في مصانع التكرير التي تستعمل طريقة السائل. وإلى الآن يجرى تحميص عشرة ملايين طن من البيريت سنوياً لهذا الغرض. والبيريت أكثر معادن الكبريتورات وفرة؛ فهو يتجمع ف كتل كبيرة على امتداد الصخور النارية المتداخلة الفقيرة في المعادن غير الحديدية، كما أنها جزء أساسي في كل خامات النحاس والنيكل الأصلية العميقة. ولقد كانت إسبانيا – قبل قيام ثورتها – تمد العالم بنصف احتياجاته من البيريت من مناجم البيريت النحاسي في ريوتنتو.

وفي عام ١٩٣٩ أرسلت اليابان مليونين من الأطنان من البيريت إلى مصانع التحميص. وقد استخرجت النرويج أكثر من مليون طن، واستخرجت كل من روسيا وإيطاليا وقبرص أقل من تلك الكمية بقليل، كما استخرجت كل من الولايات المتحدة الأمريكية والبرتغال وألمانيا حوالي نصف مليون طن. وتعتمد بريطانيا وحدها – من بين البلاد الصناعية – اعتماداً كلياً على البيريت المستورد. ولم يتغير هذا الموقف حتى في أثناء الحرب، والأمل الوحيد لبريطانيا في الحصول على مورد محلي من الكبريت هو اختزال كبريتات الكالسيوم (أنهيدريت أو جبس)، ولديها الكثير منها في تكويني البرمى الأعلى والترياسي في أواسط وشمال إنجلترا.

الفصل الثاني عشر

الأحجار الكريمة

الماس– الكورندوم (الياقوت الأحمر، والصغير أو الياقوت الأزرق) – البريل (الزمرد والأكوامارين) – أحجار شبه كريمة: التوباز، التورمالين، الجارنيت، الزبرجد، الزيركون، الأسبنل، المرو (كوارتز)، الكالسيدون، الأوبال (عين الهر)، مون ستون (حجر القمر)، الفيروز، اللازورد، اليشب.

المعروف أن الخواص الثلاث الأساسية للحجر الكريم هي جماله ومتانته وندرته، وأهم هذه كلها الندرة. إن الفنانين هم القلة الفطنة التي تعجب بالجمال في الأشياء العادية، ومن ذا الذي يشك فيما لو أن الماس كان وفيراً مثل الجارنيت العادي لكان له نفس القيمة البخسة؟

وعلى الرغم من ندرة الماس، فإن أثمان أحجاره الصافية تحدد نتيجة لإشراف صارم. إن ندرة الأحجار الكريمة أمر من اختصاص الجيولوجي إلى حد ما، لأن الظروف الخاصة التي قل أن تعمل على تكوين الماس النفيس في الصخور النارية الغنية بالكربون، أو التي تسمح بتكوين الياقوت الأحمر أو الصغير (الياقوت الأزرق) الثمين، بدلاً من الكورندوم والسنباذج (الأمرى) المستعملة في الامتساح، من الأهمية العلمية بمكان. على أن مثل هذه المعرفة ليس لها قيمة عملية كبيرة،

ومن الصعب استخدامها في البحث عن موارد أكثر لهذه الأحجار الكريمة، وعلى هذا فإن التطبيقات الأكثر أهمية للجيولوجيا هي في التعرف على الأحجار والتمييز بينها.

وترتبط المتانة بالصلابة وعدم الفاعلية الكيميائية. وجميع الأحجار الكريمة الحقيقية ثابتة ولا تفسد بمضي الزمن. على أن الكثير من جمال اللؤلؤ (وهو مادة عضوية وليس بمعدن) يرجع إلى مادة عضوية يتضمنها جوهره؛ ولهذا فإن اللآلي تفسد تدريجياً وتفقد لمعانها في النهاية وربما انحلت أيضاً. وجميع الأحجار الكريمة صلبة أيضاً، وباتخاذ مقياس الصلابة العرفي، وفيه صلابة الماس ١٠ والصخر البللوري ٧ وزجاج النوافذ العادي حوالي٦، فإن صلابة الأحجار شبه الكريمة تتراوح بين ٧ و ٨، والأحجار الكريمة بين ٧,٥ و ١٠، وعلى ذلك فإن أوجهها لا تكون قابلة للخدش العارض بذرات الغبار، ولا تمتسح أطرافها بالاستعمال. ويعزى جمال الحجر الكريم – عادة – إلى اللون أو البريق.

فاللازورد والفيروز أحجار معتمة ويعجب بها من أجل ألوانها فقط، ويعزى – جزئياً – جمال أحجار أخرى نصف شفافة إلى ألوانها، وأيضاً إلى اللألأة الناتجة عن انعكاس الضوء من محتويات دقيقة في الحجر، ولكن غالبية الأحجار الكريمة شفافة ولها بريق متألق. ولهذا البريق علاقة بعامل الانكسار العالي للضوء، الذي ينتج عنه انعكاس جزء من الضوء الساقط على السطح، أكبر من الجزء المنعكس من سطح مادة أخرى لها معامل انكسار أقل، كما أن الكثير من الضوء الذي يدخل الحجر

ينعكس في داخله ويخرج ثانية من أوجهه العليا. إن قطع الأحجار وعمل أوجه لها يزيد من لونها وبريقها، وإن تصميم أوجه الأحجار الكريمة لإظهار صفاتها على أحسن ما يكون عمل دقيق يكاد يكون فناً حسابياً، وإن قطعها عملية غاية في المهارة الفنية. ومن عجب أن هذه العملية فن حديث، ويرجع تاريخ قطع الماس إلى ٢٠٠ أو ٣٠٠ سنة قبل اكتشاف أن الماس لا يقطعه سوى الماس (أو تراب الماس). وقديماً كانت تصقل الأحجار بحيث يكون جزؤها العلوي مستديراً وظهرها مسطحاً، وكانت هذه هي الطريقة المقبولة لمعالجة معظم الأحجار الكريمة.

الماس: كانت الهند – في الأزمنة الغابرة وخلال العصور الوسطى – المصدر الوحيد للماس، الذي كان يحصل عليه من الرواسب المحتوية على معادن ثمينة من حصى الأنهار القديم منه والحديث. ولقد كان اكتشاف الماس في أنهار البرازيل في عام ١٧٢٥ سبباً في زيادة الإنتاج زيادة سريعة مما كان سبباً في انخفاض الأسعار، ولكن سرعان ما قامت الحكومة بالتحكم في الإنتاج وفرض الضرائب عليه، وقد هبط الإنتاج في القرن التالي بحيث استعادت الهند تفوقها. وبعد ذلك بمائة عام، تتابعت اكتشافات كبيرة في جنوب إفريقيا، وضعت الهند في المركز الثاني مرة أخرى.

ولقد ثبت أن اكتشافات جنوب إفريقيا من الأهمية بمكان، إذ أنها قد قدمت الدليل على منشأ الماس. فالهند والبرازيل تنتج الماس من رواسب الأنهار، وتستخرج الأحجار من صخور كونجلومرات، التي يعتقد

أنها من تكوين ما قبل الكامبري، وعلى ذلك يكون المصدر الأصلي للأحجار مجهولاً. ولم تكن الاكتشافات الأولى في جنوب إفريقيا لتختلف عن ذلك في شيء، فإن الحجر الأول قد التقطه بعض الأطفال من مزرعة بويرية في عام ١٨٦٧، بل إنه مضت مدة ولم يكن أحد يدري أنه من الماس. وفيما بعد، كانت الماسات توجد في الحصى الذي يكون جسور نهر الفال، وهكذا بدأ الاندفاع نحو البحث عن الماس. وبعد بضع سنوات، عثر على أحجار أخرى في مزرعة "دى بير" ومواقع أخرى من هضبة قاحلة، وبرزت "كمبرلي" مدينة التعدين في ليلة واحدة تقريباً. وكان كل ما عثر عليه من الماس – في بداية الأمر – موجوداً في تربة سائبة أو فيما تحت التربة، يشغل منخفضات مستديرة قليلة العمق، وكانت تستخرج بطريقة التنقيب الجاف والفرز اليدوي، وكان عدم وجود الماء أكبر عائق لانتشار هذه الصناعة.

وقد وجدت أحجار الماس – بعدئذ ودون أي توقع وبكميات أوفر – في الرواسب المفككة التي تحت التربة، وكانت هذه الرواسب تعتبر الصخر الأساسي أسفل الحصى الحامل للماس، والذي كان من المعتقد أنه بقايا من حصى النهر. ولقد كان هذا الصخر المؤكسد سهل الاستخراج، وذلك بسبب ليونته وتفككه. إلا أنه بازدياد عمق الحفر، حل محل هذه "الأرض الصفراء" صخر مغاير، غير متأثر بالتجوية، مندمج أزرق اللون، أطلق عليه اسم "الأرض الزرقاء"، وهنا أيضاً ظهر وكأن الماس لا وجود له. وعلى أية حال فلقد لقيت تجربة فرش صخر "الأرض الزرقاء" في الحقول لتجويته جزاءها العادل؛ إذ اتضح أنه يحتوي

أيضاً على أحجار الماس، فإن هذه "الأرض الزرقاء" هي في الواقع نفس "الأرض الصفراء" قبل تجويتها، وهي مصدر المورد الحالي للماس الذي يجرى استخراجه.

ونظراً لصغر مساحة الملكيات الفردية – إذ تبلغ مساحة كل منها حوالي ٣٠ قدماً مربعاً – فقد نشأت صعوبات عندما ازداد عمق التشغيل؛ ففي بادئ الأمر قام ملاك الجزء الأوسط من المنطقة بالانتقال ونقل المواد من وإلى ممتلكاتهم الصغيرة، بواسطة صناديق متحركة فوق شبكة معقدة من الأسلاك المرفوعة تشبه نسيج العنكبوت. على أن هذا لم يكن حلاً مستديماً، ولم يمكن التغلب على هذه الصعاب إلا حينما نظم الاندماج بالرغم من المعارضة الكبيرة التي قام بها "الرودز" في دى بيرز "والبرناتو" في كمبرلي.

و"الأرض الزرقاء" (وتسمى كمبرليت) صخر بركاني غريب، فوق القاعدي، وغني جداً بالمغنيسيا، وهو أصلاً بازلت يحتوي على الأوليفين والبيروكسين والجارنيت ومعادن حديدية مغنيسية أخرى غنية بالمغنيسيا، ولا يحتوي على الفلسبار. و"الأرض الصفراء" هي الجزء العلوي المتجوي للأرض الزرقاء، وتمتد أسفل التربة السطحية – المتحللة تماماً – إلى عمق يزيد على ١٠٠ قدم في بعض الأماكن. وقد أظهرت التجهيزات أن مقطع كل ماسورة من الكمبرليت يكاد يكون مستديراً ويميل إلى الاستطالة عند الأعماق. وصخر الكمبرليت هو مادة مائلة

لعنق بركان قديم. وفي بلدة كمبرلي توبعت الماسورة إلى عمق ١٣٠٠ قدم كمحجر مفتوح، واستمر تعدينها إلى عمق يبلغ ٤٠٠٠ قدما تقريباً.

وفي بداية الأمر، كانت المادة الزرقاء تنشر على سطح الأرض لمدة عام أو نحو ذلك، مع تكرار حرثها وإروائها أحياناً، وبهذه الطريقة من التجوية السريعة تتحول إلى "أرض صفراء". أما الآن فإن المادة الزرقاء تطحن، ومن ثم تؤخذ إلى معامل الغسيل والتركيز دون أية معالجة سابقة. وتغسل المادة المركزة فوق ألواح مائلة مدهونة بالشحم، وبهذه الطريقة يسهل فصل الماس، وذلك بسبب خاصيته غير العادية للالتصاق بالشحم، وتقل نسبة الماس في "الأرض الزرقاء" عن خمسة من المليون في المائة.

وتوجد – في الوقت الحالي – صخور فوق القاعدية مماثلة، وتحتوي على كمية أقل من الماس في مناطق أخرى من العالم (مثل كولومبيا البريطانية ونيوساوث ويلز وغيرها)، ولكن ليس لها أهمية تنافسية. وجدير بالذكر، أن ماسات مجهرية قد وجدت في الشهب الحجرية، وحسبما هو معروف إلى الآن، فهذان هما المصدران الأصليان الوحيدان لوجود الماس، وفيما عدا أن الكربون ينتمي إلى الصخر الناري، فإن مصدره غير معروف.

وليس الماس هو النوع الوحيد من الكربون المتبلور، بل إن الجرافيت – وهو من أكثر المواد المعدنية ليونة، فهو لذلك مفيد كمادة

مملسة، وفي صناعة أقلام الرصاص أيضاً – له نفس التركيب الكيميائي، إلا أنه من المفروض أن بلورات الجرافيت قد تكونت تحت ضغط شديد، حيث إن الثقل النوعي للجرافيت هو ٢,٢ فقط، إذا ما قورن بالثقل النوعي للماس – المرتفع نسبياً – وهو ٠٣,٥٢ والماس طبيعياً كان أم صناعياً هو أصلب مادة معروفة للآن.

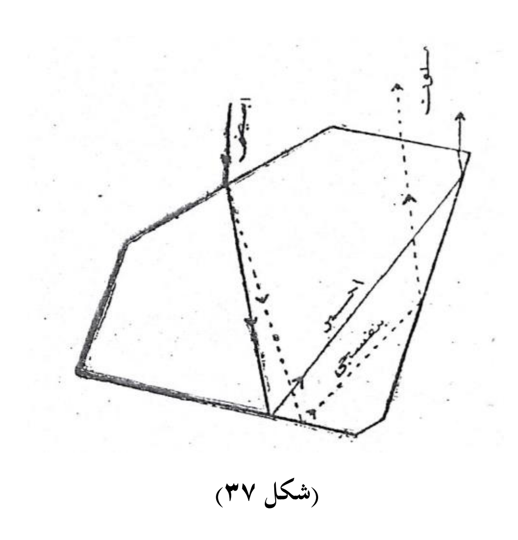
والفرق بين صلابة الماس (١٠) وصلابة الكورندوم (٩) الذي يليه في الصلابة من المواد الطبيعية، يزيد كثيراً على أي فاصل آخر يوجد في مقياس الصلابة. وفيما عدا قيمته كحجر كريم، فإن للماس استعمالات مهمة في الصناعة، مثل قطع وثقب الفلزات الصلبة وسحب الأسلاك.

وحينما اعتدت ألمانيا على روسيا، كان أول عمل قامت به بريطانيا تنفيذًا لاتفاقية المساعدة المتبادلة، أن شحنت مقدار حمولة طائرة من الماس المستخدم في الصناعة إلى الاتحاد السوفيتي.

إن معامل انكسار الضوء – الفائق الارتفاع – للماس (وهو ٢,٤ إذا ما قورن بمعامل انكسار الزجاج وهو ١,٥)، هو السبب في لمعانه المضيء، في حين أن قوة تحليله الفائقة للضوء هو السبب في ومضاته اللامعة من الألوان من حجر حسن قطعه. ومعامل الانكسار للضوء الأحمر (وهو ٢,٤٠٧) يختلف كثيراً عن معامل الضوء البنفسجي (وهو ٢,٤٦٥). ولهذا فإن الضوء الأبيض العادي يتحلل إلى شريط طيفي أكثر اتساعاً منه وفي أي بيئة أخرى. والقطع الذي يظهر اللمعان، يستغل

هذه الميزة، وهو مصمم بحيث إن معظم الضوء المنعكس من الأوجه الجانبية على السطح الأعلى يكون ملوناً (انظر شكل ٣٧).

وأحسن أنواع الماس يميل لونه إلى الزرقة الخفيفة، يليها الأنواع العديمة اللون تماماً. في حين أن أي مسحة من اللون الأصفر تعتبر عيباً خطيراً.



(شكل ٣٧)

رسم كروكي يوضح تشتت الضوء في ماسة مقطوعة قطعاً "لامعاً"– (برلنتي)

(يلاحظ أن انفصال طرفي الطيف الأحمر والبنفسجي مبالغ فيه كثيراً).

وبعض ماسات العالم الفاخرة – مع أوزانها – هي:

من الهند: ماسة "كوهي نور"– ١٠٦ قراريط و"جريت موجول"– ٢٤٠ قيراطاً و"أورلوف"– ١٩٤ قيراطاً و"هوب بلو"– ٤٤ قيراطاً.

من البرازيل: "ستار أوف ذي سوث" أو نجمة الجنوب ١٢٥ قيراطاً.

من جنوب إفريقيا: "كولينان" وتفوق جميع ما عداها، وكان وزنها قبل أن تقطع ٣٠٢٥ قيراطاً (حوالي رطل وست أوقيات)، قطع منها ماستان فاخرتان وزنهما على التوالي ٥٠٦ قراريط و٣٠٩ قراريط، وذلك بخلاف أكثر من مائة ماسة صغيرة أخرى. وقد أنتج منجم برمبير ما لا يقل عن سبعة أحجار أخرى يزيد وزن كل منها – قبل القطع – عن ٣٠٠ قيراط.

وفي الفترة الواقعة بين الحربين العالميتين، كانت نسبة كبيرة من مورد العالم من الماس تستخرج من الحصى القديم والحديث، ومن الشواطئ المرفوعة قرب مصب نهر الغال في إفريقيا الجنوبية الغربية، كما استخرجت إفريقيا الغربية كميات كبيرة.

الكورندوم: الياقوت الأحمر والياقوت الأزرق

التركيب الكيميائي: أوكسيد الألومنيوم (لو٢ أ٣)، الصلابة ٩، معامل الانكسار ١,٨، الثقل النوعي ٤. والكورندوم هو النوع الشائع من الأولمينا وخاصة "الأمري" وهو النوع المحتوي على الحديد، ويستعمل بكثرة كمادة امتساح. ويستعاض عنه – في الوقت الحالي – في كثير من الأغراض بمادة الكاربورندوم "كاربيد السيليكون" الصناعية الرخيصة والأكثر صلابة، ولو أنها سهلة الانكسار. والكورندوم عديم اللون شفاف عندما يكون تام النقاء، وفي حالة شفافيته يكون أكثر قيمة إذا ما تلون بآثار من الشوائب، وتعرف الأنواع الكريمة بأسماء مختلفة تبعاً لألوانها.

فآثار الكرميوم تعطي اللون الأحمر الياقوتي، وربما ينشأ لون الصغير "الياقوت الأزرق" الأزرق المميز من التيتانيوم، ويرجع لون الحجر الأصفر المعروف بالتوباز الشرقي إلى الحديد، ويطلق على بلورات الألومينا العديمة اللون اسم الصغير الأبيض.

وليس هناك حجر كريم عديم اللون – ربما باستثناء الزيركون – يمكن مقارنته بالماس. وليس للصغير الأبيض قيمة رفيعة بين المجوهرات.

والأنواع الجديرة بالتقدير هي الزرقاء والحمراء، وهذه تقطع قطعاً مدرجاً إلى أشكال معينة لإظهار اللون. ويندر وجود الياقوت في أحجام كبيرة، لدرجة أن حجر الياقوت الذي يزن خمسة قراريط، أغلى من حجر الماس الذي بنفس الوزن. والصغير "الياقوت الأزرق" شائع ولكنه غير عادي.

وليس الكورندوم نادراً من حيث هو جزء أساسي في الصخور النارية، لاسيما تلك الصخور الجوفية التي تحتوي على كمية كبيرة من الألومينا وكمية صغيرة من الحديد والمغنيسيا، "كما هو الحال في بعض صخور "السيانيت"، ومن عجب أن الكورندوم ليس نادراً في بعض الصخور التي تحتوي على كمية منخفضة من الألومينا وأخرى مرتفعة من المواد الحديدية المغنتيسية مثل بعض صخور البيريدوتيت. ويكون الكورندوم في الصخور النارية عادة على هيئة "أمري"، ويوجد معظم الأحجار الكريمة في الصخور المتحولة، إما في أحجار جيرية متحولة بفعل الغازات الحارة المتصاعدة، وإما في أحجار جيرية متحولة بفعل التحول الإقليمي ومقترنة بصخور النيس.

وكما هو الحال في معظم الأحجار الكريمة، فإن عدداً كبيراً يستخرج من الرواسب المحتوية على معادن ثمينة، أو من الحصى المحتوي على أحجار كريمة. وتوجد أشهر مناجم الياقوت في العالم في "موجوك" بالقرب من "ماندالاي" في بورما العليا، وهناك يوجد الحجر الكريم مقترناً مع "الأسبنل" في حجر جيري متحول ومتبلور، ويوجد أيضاً – في نفس المنطقة – في الرواسب النهرية. أما في سيام وفي سيلان، فيوجد الياقوت غالباً في الرواسب النهرية. وتتكون صخور المناطق من النيس القديم، تقطعه عروق من البجماتيت التي يحتمل أن تصدر عنها بلورات الكورندوم النفسية. وتنتج هاتان المنطقتان وخاصة سيام، كميات كبيرة من الصغير الذي يوجد في سيلان مقترناً بالتوباز الشرقي والجارنيت. وتستخرج أيضاً أحجار كبيرة من الصغير من كشمير في شمالي الهند، وتوجد هناك في جيوب من طين الصيني الذي ربما كان نتيجة لتجوية البجماتيت.

هذا وقد أمكن الحصول على أنواع رديئة من الكورندوم النفيس من بعض رواسب الحصى في مونتانا "حمراء وزرقاء"، وكوينزلاند "زرقاء وصفراء" وروسيا وروديسا وغيرها. ومن الممكن إنتاج كل من الياقوت الأزرق والأحمر صناعياً وبطريقة ناجحة وحسب الطلب، إذ ترسب الألومينا النقية كيميائياً، ثم تصهر في لهب الهيدروجين الأوكسجيني مع كميات صغيرة من أوكسيد الكروميوم أو التيتانيوم لإنتاج الياقوت الأحمر أو الصغير "الياقوت الأزرق" على التوالي. ويندر أن تخلو هذه الأحجار الصناعية من فقاقيع الهواء الدقيقة، على أن خواصها البصرية والطبيعية

تكاد تكون مطابقة لمثيلاتها من الأحجار الطبيعية، ويمكن تمييزها فقط بما تحتويه في داخلها من مواد.

و"ياقوت الكاب" هو الاسم الذي يطلقونه على بلورات الجارنيت الحمراء الخالية من الشروخ الموجودة في جنوب إفريقيا. ولم تجد هذه الأحجار سوقاً لها تحت اسمها الحقيقي، ولكنها وجدت إقبالاً كبيراً تحت هذا الاسم الأكثر شاعرية.

البريل: الزمرد، الأكوامارين

التركيب الكيميائي: سيليكات البريليوم ولألومنيوم (٣ بر أ. لو٢ أ٣. ٦س أ٢).

الصلابة: ٧,٥، معامل انكسار الضوء: ١,٥٧، الثقل النوعي: ٢,٧.

البريل معدن عديم اللون حينما يكون تام النقاوة، مثله في ذلك مثل الكثير من المعادن، وغالباً ما يكون لونه ضارباً إلى الزرقة أو يكون أخضر أو أصفر أو قرمزياً. وتعرف الأحجار الضاربة إلى الزرقة والخضراء المشوبة بالأزرق باسم "أكوامارين"، أما الزمرد فهو النوع ذو اللون الأخضر العشبي. ويندر أن يخلو الزمرد من الشروخ، وهو أنفس الأحجار الكريمة قاطبة إذا كان لونه جيداً وخاليًا من الشروخ. أما أحجار الأكوامارين الكبيرة الخالية من الشروخ فهي شائعة وأثمانها أقل كثيراً.

والعادة أن يقطع الزمرد قطعاً مدرجاً حتى يظهر لونه على أحسن ما يكون، بينما يغلب أن يقطع الأكوامارين قطعاً "لامعاً" حتى يشع الضوء المنعكس.

وكما هو المنتظر من مركب يحتوي على البريليوم، فإنه غالباً ما يوجد البريل في صخور البجماتيت التي لها علاقة بفعل الغازات الصاعدة. فيوجد الزمرد في الأحجار الجيرية المتبلورة المتحولة وفي الميكاشيست، ويوجد الأكوامارين في صخور البجماتيت المتأثرة بفعل الغازات الصاعدة بين صخور الجرانيت.

وقد استغل قدماء المصريين مناجم الزمرد الموجودة في صخور الميكاشيست في مصر العليا، وقد "افتقدت" هذه المناجم وأعيد اكتشافها خلال القرن الماضي فقط. وفي السنين الأخيرة لم تستغل هذه المناجم كثيراً، ويأتي معظم المورد الحالي من الزمرد من جنوب أمريكا "كولومبيا وأكوادور وبيرو" حيث يوجد في عروق من الكالسيت، تقطع حجراً جيرياً غير نقي في التكوين الطباشيري. وللزمرد مصادر أخرى أقل أهمية، توجد في روسيا "سيبريا والأورال".

والأكوامارين أوسع انتشاراً، ولو أن المورد الرئيسي هو أيضاً جنوب أمريكا "البرازيل". ومن البلاد المنتجة المهمة أيضاً الهند وسيلان وسيبيريا والأورال. ويستخرج البريل ذو اللون القرمزي الوردي واسمه "مورجانيت" من جزيرة مدغشقر، كما وجد أيضاً في كاليفورنيا. وتوجد بلورات من البريل الأزرق – وليست من النوع النفيس – في صخور جرانيت "مورن" في أيرلندة.

الأحجار شبه الكريمة

التوباز: – هو فلورو سيليكات الألومنيوم (لو٢ أ٣. س أ فل٢). وصلابته: ٨، ومعامل انكساره للضوء: ١,٦٢، وثقله النوعي: ٣,٥. والتوباز لا لون له، ويغلب أن يكون أصفر أو بنياً، ويندر أن يكون أزرق أو قرمزياً أو أخضر. والكثير من الأحجار التي يتداولها بائعو الجواهر على أنها توباز هي مرو "كوارتز" ملون باللون الأصفر أو البني "سترين الحجر الليموني أو كير نجورم"، والتوباز الحقيقي ويسمى أحياناً "بالتوباز البرازيلي" أثقل وزناً وأكثر صلابة، ومعامل انكسار الضوء فيه أعلى نوعاً ما، ويمكن كهربته بالفرك. ولكونه أحد المعادن الناتجة من فعل الغازات الصاعدة، فإنه يوجد كجزء من صخور البجماتيت المالئة للعروق وغيرها، كما يوجد في الحصى المنقول من مثل هذه الصخور. ويغلب أن يقترن بحجر القصدير "الكاستريت"، كما يغلب أن يوجد "وليس من الضروري أن يكون نفيساً" في الحصى المحتوى على القصدير. ويوجد في الرواسب النهرية في مواقع كثيرة ومنتشرة في البرازيل وفي روسيا "الأورال وسيبريا".

التورمالين: بورو سيليكات الألومنيوم مع القلويات والمغنسيوم والحديد، وصلابته تتراوح ما بين ٧ و ٧,٥ ، ومعامل انكسار الضوء فيه ١,٦٣ ، وثقله النوعي يتراوح بين ٢,٩ و ٣.

من أنواع التورمالين المعروفة التي تعرض في الأسواق: زبرجد سيلان الأصفر، وزبرجد برازيلي أخضر ضارب إلى الصفرة، وزمرد برازيلي

أخضر، وصغير برازيلي أزرق، وروبلليت قرمزي وسيبريت أحمر، وهناك أنواع ذات لون بني ضارب إلى الخضرة.

وكثيراً ما تظهر البلورات الفردية من التورمالين في مناطق مختلفة الألوان، ويتكهرب التورمالين – عند فركه – بدرجة أكبر منها في التوباز. ويرجع أصل التورمالين – دائماً – إلى فعل الغازات الحارة الصاعدة، وتوجد بلورات كبيرة منه في عروق البجماتيت وفي صخور الشيست والأحجار الجيرية المتحولة. والمصادر الرئيسية للأنواع النفيسة هي البرازيل والأورال والولايات المتحدة الأمريكية الغربية وجزيرة مدغشقر ومن الحصى الذي يحتوي على الأحجار الكريمة في سيلان.

الجارنيت: ورمزه الكيميائي ٣ر "أ.ر" ٢أ٣. ٣س أ ٢ وفيه (ر) تمثل الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد الحديدوزي والمنجنيز وغيرها، و(ر) تمثل الألومنيوم والحديد الحديديكي والمنجنيز والكروميوم وغيرهم. وصلابته حوالي ٧، ومعامل انكسار الضوء فيه: ١,٧٥، وثقله النوعي يتراوح ما بين ٣,٥ و ٣,٧. إن أكبر عيب لهذا الحجر الكريم الجذاب هو أن بلوراته الجميلة ليست نادرة. وتركيبه الكيميائي متغير جداً. ولأنواعه المختلفة مجموعات مختلفة من المعادن الثنائية أو الثلاثية التكافؤ، وينتج عن ذلك تعدد ألوانه. والأنواع الكريمة هي: خضراء (زمرد أورالي وأوليفين)، وأحمر (ياقوت الكاب)، وأصفر وبرتقالي (هياسنت، وحجر القرفة)، ومن الأنواع الأخرى ما هو أخضر بني أو بني أو أسود.

والجارنيت – أصلاً – من المعادن المتحولة، ويوجد معظم أحجار الجارنيت الكريمة إما في أحجار جيرية أو في صخور الشيست المتبلورة. ويندر أن يكون الجارنيت جزءًا من الصخور النارية، إذ يوجد في بعض الأحيان في صخور الجرانيت، ويوجد بمقادير أكثر في الصخور النارية فوق القاعدية مثل كمبرليت. ويبقى الجارنيت سليماً طوال عدة حلقات من التجوية، ولذا يوجد بكثرة في الحصى المحتوي على أحجار كريمة.

الزبرجد: (أوليفين حقيقي) وهو سيليكات المغنيسيوم والحديد ٢ (مغ.ح) أ. س أ٢، وتتراوح صلابته ما بين ٦,٥ و ٧، ويتراوح معامل انكسار الضوء فيه من ١,٦ إلى ١,٧، وثقله النوعي ٣,٣. ولونه الأخضر ناشئ عن الحديد الحديدوزي، وتكاد الأنواع التي تحتوي على الكثير منه أن تكون معتمة. والمورد الوحيد عملياً لهذا الحجر الكريم هو جزيرة سنت جون (جزيرة الزبرجد) في البحر الأحمر، على أن المعدن نفسه واسع الانتشار في جميع الصخور النارية القاعدية وفوق القاعدية. ويوجد النوع المعروف باسم فورستيريت في الأحجار الجيرية الدولومينية المتحولة. وتنتج كوينزلاند وأمريكا الشمالية كميات صغيرة من الحجر الكريم. والسربنتين عبارة عن أوليفين متحول اتحد بالماء، وتتكون أجمل أنواع الرخام شبه الثمينة "الأوفيكالسيت" من صخور متحولة تحتوي على الأوليفين.

الزيركون: (اليارجون، هاسنث) وهو سيلكات الزيركونيوم أو الأوكسيد المزدوج للزيركونيوم والسيليكون (ز أ٢. س أ٢)، وتتراوح

صلابته ما بين ٧ و ٧,٥، ومعامل انكسار الضوء فيه يتراوح بين ١,٩، ٢، وثقله النوعي ٤,٧. والزبيكون حجر كريم جذاب، تتقارب خواصه مع خواص الماس، وله لمعان وإشعاع بحيث يمكن تقديمه لغير الحريصين على أنه ماس. ويمكن تمييزه عن الماس بسهولة، لأن صلابته أقل من صلابة الماس. وهو عديم اللون في بعض الأحيان، وقد يكون لونه أخضر أو أحمر أو أصفر أو أزرق. ويوجد الزيركون في كل مكان كمعدن ثانوي في الصخور النارية الحمضية والمتوسطة، ويوجد بكثرة خاصة في صخور السيانيت. على أن معظم أنواعه في الحصى المحتوي على الأحجار الكريمة في سيلان، كما توجد أنواع أخرى في أستراليا وجنوب إفريقيا وروسيا.

الأسبنل: وهو أوكسيد المغنيسيوم والألومنيوم (مغ أ. لو٢ أ٣). وتتراوح صلابته بين ٨ و٨,٥، ويتراوح معامل انكسار الضوء فيه ما بين ١,٧١، ١,٧٣، ويتراوح ثقله النوعي ما بين ٣,٥و ٣,٧. وأحسن أنواع الأسنبل المعروفة هي الأحجار الحمراء المشهورة باسم "ياقوت بالاس". ولأحجاره الكريمة مدى واسع من الألوان تتدرج من الأحمر إلى الأزرق بلون الصلب. وغالباً ما يقترن بالكورندوم كما هو الحال في أحجار "موجوك" الجيرية، وفي الحصى المحتوي على الأحجار الكريمة في بورما وسيلان.

المرو (الكوارتز): وهو ثاني أوكسيد السيليكون (س أ٢)، وصلابته ٧، ومعامل انكسار الضوء فيه ١,٥٥، وثقله النوعي ٢,٦٦. والكوارتز صافٍ كالماء (الصخر البلوري) عندما يكون نقياً، وقد يتلون في بعض

الأحيان بآثار من المنجنيز (أرجواني أو بنفسجي، الجمشت) أو من الحديد (أصفر) أو السيترين (الحجر الليموني) لبني (كيرنجورم) وعادة، يسمى – خطأ – بالتوباز أو بآثار من التيتانيوم (قرمزي، كوارتزوردي). وينتشر الكوارتز انتشاراً واسعاً في الصخور النارية الحمضية، وفي الصخور الراسبة والمتحولة وفي كثير من العروق، وأفضل أنواع حصى الصخر البلوري والصخر البلوري النفيس يأتي معظمه من عروق البجماتيت النارية المنشأ. والبلاد الشهيرة بإنتاج الكوارتز هي البرازيل وأوروجواي والهند وسيلان وروسيا.

ومواقع وجود الكوارتز الوردي محدودة، وأفضلها سد رأسي من البجماتيت موجود في بافاريا، ومواقع أخرى غير معروفة في الصين. ويأخذ حجر "الكيرنجورم" النفيس اسمه من الموقع الذي يوجد به في صخر الجرانيت في المرتفعات الوسطى بأسكتلندة.

السيليكا الثانوية: منذ الأزمنة الغابرة، كان للكالسيدوني (وهو مادة دقيقة التبلور) وأنواعه من الكارنيليان والجاسبر (اليشب) والمواد المخططة التي تملأ الفجوات مثل الأجات (العقيق) والأونيكس. كان لكل هذه المواد اعتبار وتقدير. ومعظم الأحجار الكريمة القديمة المحفورة كان من الكارنيليان، كما كان يغلب استخدام الأونيكس المخطط في الجواهر التي عليها نقوش بارزة. وكل هذه الأنواع التي تقدم ذكرها من السيليكا الثانوية التي ترسبت في فجوات من محاليل مائية.

الأوبال: (عين الهر) هو أحد أنواع السيليكا الثانوية ويحتوي على ماء، وهو مجهري التبلور أو غير متبلور. وينشأ تغاير ألوانه من تداخل الضوء المنعكس من غشاءات داخل المادة المعدنية. والأصل في هذه الغشاءات أنها تكونت كشروخ انكماش امتلأت فيما بعد بمادة جديدة من الأوبالي. ولاحتواء هذه المادة الجديدة على كمية من الماء تختلف عن الكمية الموجودة في المادة الأولى، فإن معامل انكسار الضوء فيها يكون مختلفاً، وينشأ عن ذلك تداخل الألوان بنفس الطريقة التي تحدثها فقاعة الصابون في الهواء. وأنواع الأوبال الثمين هي الأبيض والأسود والناري. وفي مبدأ الأمر كاد يكون الحصول على الأوبال مقصوراً على مناجم في المجر، حيث يوجد هناك كمادة مالئة للفجوات في طفوح التكوين الثلاثي. أما الآن، فإن أحسن وأكبر قطعة، تستخرج من مادة مالئة بين سطوح الطبقات، ومن شروخ الفواصل الموجودة في الأحجار الرملية والصخور الطينية الصفحية من التكوين الطباشيري في نيوسوث ويلز. وقد حلت بعض أنواع الأوبال محل العظم القديم والخشب المتحجر.

المون ستون: (حجر القمر) وهو نوع من الأورثوكلاز فلسبار (بو٢أ. لو٢ أ٣. ٦س أ٢). يرجع تألقه اللؤلؤي إلى تداخل الضوء المنعكس على سطوح توائم البلورات المجهرية (ذات التوجيه البصري المختلف) ضمن بلوراته. وترد أحجار المون ستون الكريمة من سويسرا وسيلان غالباً.

الفيروز: وهو فوسفات الحديد والألومنيوم والنحاس، وصلابته ٦. والفيروز عبارة عن مادة غير متبلورة ترسبت على هيئة مادة مالئة للفجوات. ولأنه مسامي، فإنه يتعرض للتلف بتماسه مع الصابون والشحم وغيرهما. وأشهر موقع للفيروز في "نيابور" في إيران، حيث يوجد في شقوق طفوح مكسرة من التكوين الثلاثي مغطياً جوانبها أو مالئاً لها. وللفيروز مصادر محلية في المكسيك وسييرانيفاجا وأريزونا وروسيا. هذا والفيروز معروف في شبه جزيرة سيناء.

اللازورد: (لازوريت) وهو سيليكات الصوديوم والألومنيوم متحدة مع كبريتورات. وكان مسحوق اللازورد هو الصبغة الزرقاء الأصلية، ولكن الصبغة تجهز الآن صناعياً، وذلك بتسخين الطين الصيني (سيليكات الألومنيوم المائية) مع كربونات الصوديوم وفحم الخشب والكبريت في فرن مغلقة. ويغلب أن يوجد اللازورد على هيئة حبات متناثرة في حجر جيري متحول دقيق التبلور، ويحتوي على حبيبات من البيريت. وعلى هذا يكون اللازورد عبارة عن صخر يتوقف لونه ونوعه على كمية اللازوريت الموجودة فيه. وأحسن ألواح هذا الصخر تأتي من أفغانستان، على أنه من المعروف أيضاً في روسيا أحجاراً زرقاء جميلة..

اليشب: يطلق هذا الاسم على مادتين معدنيتين تختلفان في تركيبهما الكيميائي، ولو أنهما تتشابهان كثيراً في مظهرهما؛ فالشيب الحقيقي (نفريت) هو سيلكات المغنيسيوم والكالسيوم، ولونه أخضر باهت، وهو من مجموعة معادن الأمفيبول. أما الجيديت، فهو سيليكات

الصوديوم والألومنيوم كما أنه من مجموعة معادن البيروكسين. وكلاهما صلب جداً، ويصقل صقلاً جيداً. ويستعمل بكثرة في صنع اللوحات الصينية المحفورة الشهيرة. واليشب الحقيقي (ويتراوح ثقله النوعي بين ٣ و ٣,١، صلابته ٦,٥) عبارة عن مجموعة مبلدة من الإبر المجهرية، توجد في صخور الهورنيلند شيست في الصين وتركستان. ويوجد في نيوزيلاند نوع آخر، لونه أخضر قاتم (لاحتوائه على كمية أكبر من الحديد)، ويقترن بصخور طلق شيست وسربنتين شيست. أما الجيديت (وثقله النوعي ٣,٣، وصلابته ٦,٥) فيغلب أن يكون محبباً أكثر، والعادة أن تتداخل حبيباته من البيروكسين مع فلسبار متحلل. ويكاد يكون وجوده مقصوراً على بورما العليا، حيث يوجد مقترناً بصخور سربنتينية. وألوانه متغيرة جداً عن ألوان النفريت، ويعرف منها إلى جانب الأبيض والأخضر، القرمزي والبنفسجي الباهت.

تذييل

أ- تصنيف جدولي للصخور النارية

النسبة المئوية للسيليكا	حمضي ٦٥%- ٧٥%	متوسط ٥٥%- ٦٥%		قاعدي ٤٥%- ٥٥%	فوق القاعدي ٣٥%- ٤٥%
		قلوي	كلسي		
صخور بركانية	ربوليت زجاج طبيعي حجر الخفاف	تراكيت فونوليت	إنديسيت	بازلت	
أقل جوفية	ميكروجرانيت كوارتز بورفيري	بورفيري	بورفيريت	دوليريت	
جوفية	جرانيت	سيانيت	ديوربت	جابرو	بريدوتيت سربنتين
المعادن الرئيسية	كوارتز أورثوكلاز مسكوفيت بيوتيت هورنبلند	أورثوكلاز بلاجيوكلاز بيوتيت هورنبلند	بلاجيوكلاز هورنبلند أوجيت	بلاجيوكلاز هورنبلند أوجيت أوليفين لوسيت نقيلين خامات حديد	أوجيت أوليفين خامات حديد

ب- تصنيف جدولي للصخور الراسبة

رواسب مكونة من أجزاء وفتات الصخور:

صخور مكونة من قطع صخور مختلفة: حصى، وكونجلومرات، وبريشيا. ويمكن أن يدخل ضمنها طين الجلاميد.

صخور رملية: رمل، وطمي، والحدان الأعلى والأدنى لحجم الحبيبات غير ثابتين. وتستخدم مختلف الجهات المختصة حدوداً مختلفة. ويتراوح الحد الأدنى لحبيبات الرمل بين ٠,٠٥ و ٠,١ من الملليمتر، والحد الأدنى لحبيبات الطمي بين ٠,٠٠٥ و ٠,٠١ من الملليمتر. وتسمى الرمال التي تنتج من الصخور متبلورة غير منحلة، والتي تحتوي على كثير من الفلسبار باسم "أركوز".

صخور طينية: الصلصال، والطفل، والطين، والصخور الطينية الصفحية، والإردواز، ورواسب "اللويس" وغيرها.

رواسب كيميائية:

خامات الحديد الموجودة في طبقات. أحجار جيرية غير عضوية ودولوميت، وتوفا جيرية وغيرها- ملح صخري، وجبس، ونترات، وبورات، ورواسب ملحية أخرى.

رواسب عضوية:

رواسب كربونية: بيت، وأجنيت، وفحم حجري. فوسفات عضوية: طبقات عضم، وذرق الطيور وغيرها.

رواسب سيليسية: أحجار دياتومية وراديولارية، ورواسب مكونة من أشواك الأسفنجيات.

رواسب جيرية: أحجار جيرية محارية، وأحجار جيرية من شعوب مرجانية، وأحجار جيرية طحلبية الطباشير، وطين الأعماق الجيري (المنخربات، الجناحيات وغيرها).

رواسب مكونة من أجزاء الصخور النارية:

رماد، وتوف، وبريشيا بركانية.

رواسب متبقية وتربة.



الفهرس